



**POLITÉCNICA**

## **Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía**

**TITULACIÓN: INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

### ***OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D***



***Alumna: Ana Pantoja Lorenzo***

***Tutora: Dra. Mercedes Farjas Abadía***

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1. OBJETIVO.....	9
2. PRIMEROS ESTUDIOS EXPERIMENTALES.....	10
2.1. PIEZA 1. MOTOR DE VAPOR PORTÁTIL ( <i>PORTABLE STEAM ENGINE</i> ) .....	10
2.1.1. Descripción de la pieza .....	10
2.1.2. Objetivo .....	12
2.1.3. Escaneado de la pieza.....	12
2.1.4. Conclusiones de la toma I.....	15
2.2. ESCANEADO II DEL MOTOR A VAPOR PORTÁTIL ( <i>PORTABLE STEAM ENGINE</i> ) .....	16
2.2.1. Introducción .....	16
2.2.2. Escaneado de la pieza.....	16
2.2.3. Tratamiento de datos .....	20
2.2.4. Conclusiones.....	26
2.3. PIEZA 3. MOTOR STIRLING .....	29
2.3.1. Introducción .....	29
2.3.2. Escaneado de la pieza.....	31
2.3.3. Tratamiento de datos .....	34
2.3.4. Conclusiones.....	44
3. PIEZA TERRACOTA .....	45
3.1. INTRODUCCIÓN.....	45
3.2. ESCANEADO DE LA PIEZA .....	45
3.3. TRATAMIENTO DE DATOS.....	47
3.3.1. Alineación de las tomas de una familia .....	48
3.3.2. Cortado de las familias .....	53
3.3.3. Alineación del modelo final .....	54
3.3.4. Fusión del modelo .....	59

3.3.5.	Refinado del modelo .....	61
3.3.6.	Resultados finales.....	62
4.	MÉTRICA.....	63
4.1.	OBTENCIÓN DE LA MÉTRICA SOBRE LOS MODELOS DIGITALES. PROGRAMA MINIMAGICS .....	63
4.1.1.	Presentación del programa Minimagics.....	63
4.1.2.	Cálculo de la métrica de la pieza .....	63
4.1.3.	Comparación de mediciones con flexómetro y programa Minimagics ...	68
5.	MODELOS 3D EN FORMATO PDF .....	71
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	71
5.2.	PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ARCHIVOS PDF 3D .....	71
6.	CONCLUSIONES .....	74
7.	PRESUPUESTO .....	79
8.	ANEJOS .....	84
8.1.	ANEJO I: APLICACIONES DE LOS SISTEMAS LÁSER ESCÁNER .....	84
1.1.1.	Ingeniería inversa .....	84
1.1.2.	Construcción de túneles .....	85
1.1.3.	Derrumbes y hundimientos.....	86
1.1.4.	Patrimonio .....	86
1.1.5.	Accidentes de avión, de circulación y escenas del crimen.....	88
1.1.6.	Animación tridimensional .....	90
8.2.	ANEJO II: EL SISTEMA LÁSER ESCÁNER 3D .....	91
8.2.1.	Descripción del equipo Láser 3D y del programa de control .....	91
8.2.2.	Proceso de escaneados 3D .....	101
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	116

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Maqueta del motor a vapor portátil .....	10
Ilustración 2 - Instalación de la correa de transmisión .....	11
Ilustración 3 - Parámetros escaneado inicial.....	13
Ilustración 4 - Familias resultado escaneado inicial .....	13
Ilustración 5 - Resultado alineación automática .....	14
Ilustración 6 - Modelo en sólido.....	14
Ilustración 7 - Imágenes tratamiento previo.....	16
Ilustración 8 - Tomas de la familia A.....	17
Ilustración 9 - Tomas de la familia B.....	17
Ilustración 10- Parámetros escaneado familia C.....	18
Ilustración 11 - Familias C.....	19
Ilustración 12 - Parámetros escaneado Familia E.....	19
Ilustración 13 - Tomas de la familia E.....	20
Ilustración 14 - Cortado en Familia D .....	21
Ilustración 15 - Alineación Familias A y B .....	21
Ilustración 16 – Alineación Familia D .....	22
Ilustración 17 – Alineación Familia C.....	22
Ilustración 18 – Modelo 3D del motor a vapor portátil, diferentes modos de visualización.....	23
Ilustración 19 - Parámetros de fusionado .....	24
Ilustración 20 – Nueva familia C generada tras la aplicación de la herramienta Fuse ..	25
Ilustración 21 - Modos de visualización del modelo C. De izquierda a derecha: color, sólido, malla triangular, puntos.....	25
Ilustración 22 - Detalle de radios, real y modelo .....	26
Ilustración 23 – Malla de triángulos, parte inferior de la pieza. ....	27
Ilustración 24 - Detalle de la chimenea. ....	27
Ilustración 25 - Esquema básico de un motor Stirling.....	30
Ilustración 26 - Motor Stirling objeto de estudio .....	30
Ilustración 27 - Parámetros escaneado familia A.....	31
Ilustración 28 - Tomas de la familia A .....	32
Ilustración 29 - Parámetros escaneado familia B.....	32
Ilustración 30 - Tomas de la familia B.....	33
Ilustración 31 - Parámetros escaneado familia C. ....	33
Ilustración 32 - Tomas de la familia C.....	34
Ilustración 33 - Alineación tomas A1 y A2 .....	35
Ilustración 34 - Alineación toma A3 .....	35
Ilustración 35 - Alineación final Familia A .....	36
Ilustración 36 - Localización de puntos comunes en tomas Familia B .....	36
Ilustración 37 - Alineación final Familia B.....	37



Ilustración 38 - Alineación final Familia C.....	37
Ilustración 39 - Cortado (Trim) .....	38
Ilustración 40 - Alineación Familias B y C .....	39
Ilustración 41 - Precisión alineación B y C .....	39
Ilustración 42 - Alineación final del modelo y precisión.....	40
Ilustración 43 - Parámetros del fusionado .....	41
Ilustración 44 - Modelo resultante tras la fusión .....	42
Ilustración 45 - Modos de visualización del modelo resultante. De izquierda a derecha: color, sólido, malla triangular, puntos.....	43
Ilustración 46 - Detalle de la malla de triángulos .....	44
Ilustración 47 – Detalle de la definición de límites .....	44
Ilustración 48 - Marcas de la pieza para la alineación.....	45
Ilustración 49 - Parámetros del escáner.....	46
Ilustración 50 - Familias A y B.....	47
Ilustración 51 - Familias C y D.....	47
Ilustración 52 - Familia E.....	47
Ilustración 53 - Alineación de tomas familia A .....	48
Ilustración 54 – Familia A alineada .....	49
Ilustración 55 - Precisión alineación Familia A .....	49
Ilustración 56 - Alineación de tomas familia B .....	49
Ilustración 57 – Familia B alineada .....	50
Ilustración 58 - Precisión alineación Familia B .....	50
Ilustración 59 - Alineación de tomas familia C .....	50
Ilustración 60 – Familia C alineada .....	51
Ilustración 61 - Precisión alineación Familia C .....	51
Ilustración 62 - Alineación de tomas familia D .....	51
Ilustración 63 – Familia D alineada.....	52
Ilustración 64 - Precisión alineación Familia D .....	52
Ilustración 65 - Alineación de tomas familia E .....	52
Ilustración 66 - Familia E alineada .....	53
Ilustración 67 - Precisión alineación Familia E .....	53
Ilustración 68 - Proceso de cortado, Familia E .....	54
Ilustración 69 - Proceso de alineación Familias A y B.....	54
Ilustración 70 - Precisión alineación Familias A y B.....	55
Ilustración 71 - Proceso de alineación Familia D.....	55
Ilustración 72 - Precisión alineación Familia D .....	56
Ilustración 73 - Proceso alineación Familia E .....	56
Ilustración 74 - Precisión alineación Familia E .....	57
Ilustración 75 - Proceso de alineación Familia C .....	57
Ilustración 76 - Precisión final del modelo .....	58
Ilustración 77 - Superposición de mallas resultado de la alineación .....	58

Ilustración 78 - Información del modelo obtenido .....	59
Ilustración 79 - Parámetros de fusionado .....	60
Ilustración 80 - Modelo fusionado de la pieza .....	60
Ilustración 81 - Información del modelo tras el fusionado .....	61
Ilustración 82 - Fotografía de la pieza .....	62
Ilustración 83 - Modos de visualización del modelo resultante. De izquierda a derecha: color, sólido, malla triangular, puntos.....	62
Ilustración 84 - Comprobación de la malla de triángulos.....	64
Ilustración 85 - Detalle de la malla de triángulos.....	64
Ilustración 86 - Acotaciones de la pieza I .....	65
Ilustración 87 - Acotaciones de la pieza II .....	65
Ilustración 88 – Sección longitudinal.....	66
Ilustración 89 – Diferentes secciones transversales .....	67
Ilustración 90 - Acotación con Minimags (arriba) y Flexómetro (abajo) I .....	68
Ilustración 91 - Acotación con Minimags (arriba) y Flexómetro (abajo) II .....	69
Ilustración 92 - Creación de pdf 3D .....	72
Ilustración 93 - Imagen 3D de la pieza I.....	73
Ilustración 94 - Imagen 3D de la pieza II.....	73
Ilustración 95 – Medicas realizadas con ScanStudioHD (7,614 mm), Minimags (7,601 mm) y calibre (7,6 mm) .....	76
Ilustración 96 - Distribución del presupuesto por actividad .....	83
Ilustración 97 - Ingeniería inversa aplicada a un retrovisor de automóvil.....	85
Ilustración 98 - Nube de puntos generados por escáner en túnel.....	85
Ilustración 99 - Levantamiento 3D de un derrumbe .....	86
Ilustración 100 - Escaneado de alta precisión de una vasija .....	87
Ilustración 101 - Levantamiento de la fachada de una iglesia con equipos láser escáner 3D.....	88
Ilustración 102 - Restos del transbordador espacial Columbia.....	89
Ilustración 103 - Modelo tridimensional de un coche accidentado.....	89
Ilustración 104 - Imagen tridimensional de película 3D.....	90
Ilustración 105 - Equipo láser escáner y auto-posicionador NextEngine.....	92
Ilustración 106 - Pantalla principal de ScanStudio HD .....	93
Ilustración 107 - Menú de control.....	94
Ilustración 108 - Menú de opciones .....	94
Ilustración 109 - Menú de control principal .....	94
Ilustración 110 - Otros componentes del menú de control .....	95
Ilustración 111 - Botón MODE, cuatro maneras de ver el objeto .....	96
Ilustración 112 - Diferentes modos de visualización del objeto. De izquierda a derecha: textura, sin textura, triangulación y puntos. ....	96
Ilustración 113 - Detalle del modelo de visualización en malla y punto.....	96
Ilustración 114 - Ejemplo de jerarquía de escaneado .....	97

Ilustración 115 - Ventana donde se muestran las familias y las tomas de una familia .	98
Ilustración 116 - Botón SCAN .....	98
Ilustración 117 - Menú de control del escaneado.....	98
Ilustración 118 - Tres diferentes modos de escaneado seleccionables .....	99
Ilustración 119 - Precisión y velocidad seleccionables.....	100
Ilustración 120 - Izquierda: modo MACRO. Derecha modo WIDE .....	101
Ilustración 121 - Diagrama de flujo del proceso .....	102
Ilustración 122 - Botón ALINEAR .....	104
Ilustración 123 - Botón CORTAR.....	105
Ilustración 124 - Componentes del menú CORTAR.....	105
Ilustración 125 - Botón de FUSION y barra de herramientas.....	106
Ilustración 126 - Panel de configuración de FUSIONADO .....	107
Ilustración 127 - Botón POLISH.....	108
Ilustración 128 - Funciones FILL, BUFF y SIMPLIFY .....	108
Ilustración 129 - Menú de la opción FILL.....	109
Ilustración 130 - Menú de control de la herramienta BUFF.....	109
Ilustración 131 - Menú de control de la herramienta SIMPLIFY .....	110
Ilustración 132 - Botón CAD .....	111
Ilustración 133 - Herramientas del botón CAD .....	111
Ilustración 134 - Cubo delimitador .....	111
Ilustración 135 - Botones del menú de la herramienta ORIENT .....	112
Ilustración 136 - Botón BASE en la herramienta ORIENT .....	112
Ilustración 137 - Herramienta SPLINE .....	113
Ilustración 138 - Botón OUTPUT.....	114
Ilustración 139 - Desplegable del menú Guardar Como .....	114

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Parámetros escaneado familias A y B .....	17
Tabla 2 - Parámetros escaneado familia C .....	18
Tabla 3 - Parámetros de escaneado de la pieza .....	46
Tabla 4 - Comparación mediciones I .....	69
Tabla 5 - Comparación mediciones II .....	70
Tabla 6 – Coste de los escaneados con Escáner Láser 3D .....	80
Tabla 7 – Coste de la obtención del modelo tridimensional.....	81
Tabla 8 - Coste de la redacción de la memoria .....	82
Tabla 9 - Suma de costes y aplicación de B.I e I.V.A.....	82
Tabla 10 - Requisitos para el software .....	93
Tabla 11 - Resumen de extensiones de archivos para importación y exportación desde ScanStudioHD .....	115

## Agradecimientos

*A mi madre, por su incesante afán de facilitarme la vida.*

*A mi padre, por su aportación tecnológica en todas mis vivencias.*

*A mi marido y mis hijas, mis motores de vida.*

*A mi tutora y amiga Mercedes, por enseñarme mucho más que Topografía.*

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1.OBJETIVO

El objetivo del presente Proyecto Fin de Carrera consiste en obtener el modelo tridimensional de una pieza de terracota, mediante la tecnología Láser Escáner 3D.

Se plantea como objetivo de este proyecto el análisis del comportamiento del escáner y de la modelización 3D en relación a los tipos de materiales. Se realizarán ensayos con piezas construidas con materiales metálicos de mayor o menor complejidad y se concluirá con el estudio de la pieza de terracota seleccionada para este trabajo.

El modelo se obtendrá con una precisión interna 2 mm.

## 2. PRIMEROS ESTUDIOS EXPERIMENTALES

### 2.1. PIEZA 1. MOTOR DE VAPOR PORTÁTIL (*PORTABLE STEAM ENGINE*)

#### 2.1.1. Descripción de la pieza

Se selecciona como primer objeto de estudio la maqueta de un motor de vapor portátil (*Portable Steam Engine*) realizada a escala 1 ½ ". Su construcción fue manual en su totalidad, mediante el torneado de materiales metálicos (acero, latón). Tiene unas dimensiones máximas de 23 cm de largo por 9 cm de ancho por 18 cm de alto.

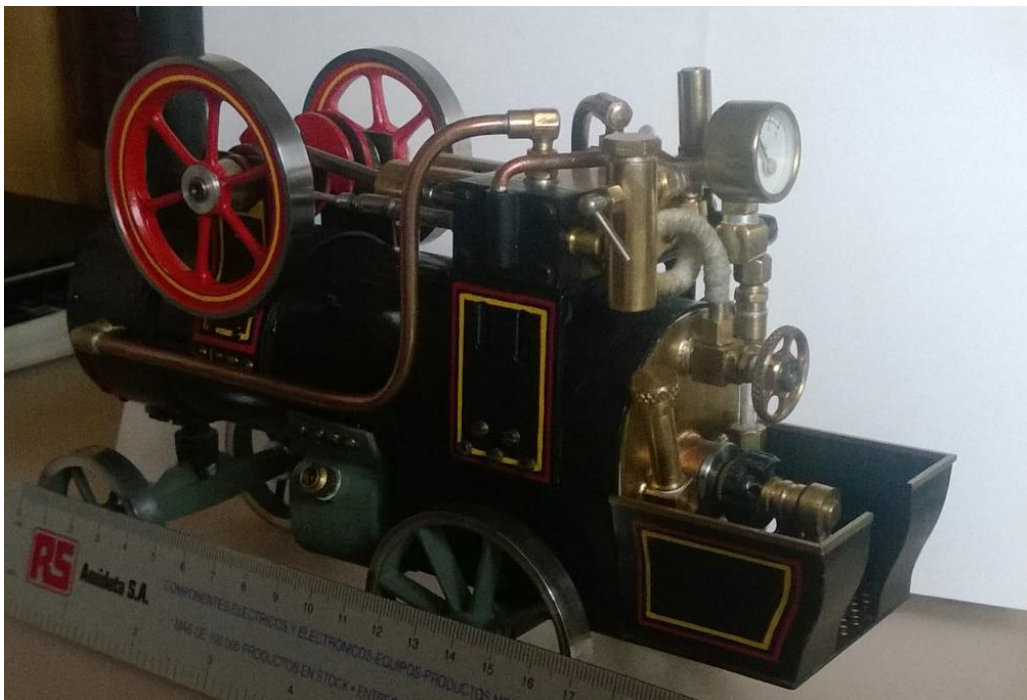


Ilustración 1 - Maqueta del motor a vapor portátil

Los motores a vapor portátiles (*Portable Steam Engine*) son motores que permanecían en el sitio mientras suministraban energía a otras máquinas. Se remolcaban al área de trabajo montados sobre ruedas (en este caso) o sobre patines.

Este tipo de motores portátiles fueron de uso común en los países industrializados desde principios del siglo XIX hasta principios del siglo XX, época en la que se generalizó la transmisión mecánica de potencia. Antes de esto, la mayoría de la generación y transmisión de energía la realizaban los animales, el agua, el viento, o un

ser humano; posteriormente, la combinación de la electricidad y vehículos y equipos modernos (tractores, camiones, coches, motores generadores, etc.) desplazó cada vez más el uso de estos motores portátiles. Hoy en día, aún tienen algo de uso en los países en desarrollo (normalmente en forma de pequeños motores modernos montados en tableros), aunque las tecnologías mencionadas anteriormente limitan cada vez más su demanda. En los países industrializados ya no se emplean con fines comerciales, tan sólo para muestras en ferias especializadas.

Durante su apogeo los motores portátiles normalmente eran remolcados a los lugares de trabajo por caballos o bueyes, o en la última parte de su uso por otros tractores o camiones. Solían dirigir maquinaria agrícola (trilladoras), maquinaria de molienda (molinos, aserraderos), bombas y ventiladores en minas y pozos de petróleo, y martillos eléctricos, prensas y otras máquinas en los ejes de la línea de fabricación. Incluso se emplearon en la generación de electricidad para la iluminación con focos en los partidos de fútbol (la primera vez en Bramall Lane, Sheffield en 1878).

Normalmente el motor portátil se transportaba a la zona de trabajo, granja o campo, y se instalaba una larga correa de transmisión entre la rueda motriz del motor y el volante de la máquina a la que alimentaba.



Ilustración 2 - Instalación de la correa de transmisión



En algunos de casos, en lugar de ser remolcado al lugar de trabajo, el motor portátil permanecía semi-instalado en un edificio como una máquina de vapor estacionaria, aunque las ruedas no se desmontaban.

### 2.1.2. Objetivo

El objetivo de esta fase preliminar del PFC fue realizar un estudio de detalle de las posibilidades de escaneo de una pieza de estas características. Dada la complejidad de su geometría y el tipo de materiales con los que fue construido, se presentaban a priori una serie de inconvenientes que cuestionaban el trabajo con esta pieza:

- Geometría: elevado detalle de las piezas que componen el motor y su discontinuidad espacial, unido al tamaño global de la misma.
- Materiales: estudios previos indicaban que los metales pulidos y brillantes dificultaban la toma de datos del objeto dada la elevada reflectividad de la señal láser sobre el objeto. En este caso, la totalidad de la pieza, salvo un detalle, es metálica. Hay partes que están muy pulidas, como es el caso de las ruedas, la caja de la tapa de humos y los elementos de control de la parte posterior.

### 2.1.3. Escaneado de la pieza

El análisis comenzó con un escaneado inicial, cuyos parámetros se indican en la siguiente tabla:

Posicionamiento	Nº Divisiones	Calidad	Contraste	Precisión
360º	8	HD	DARK	WIDE

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

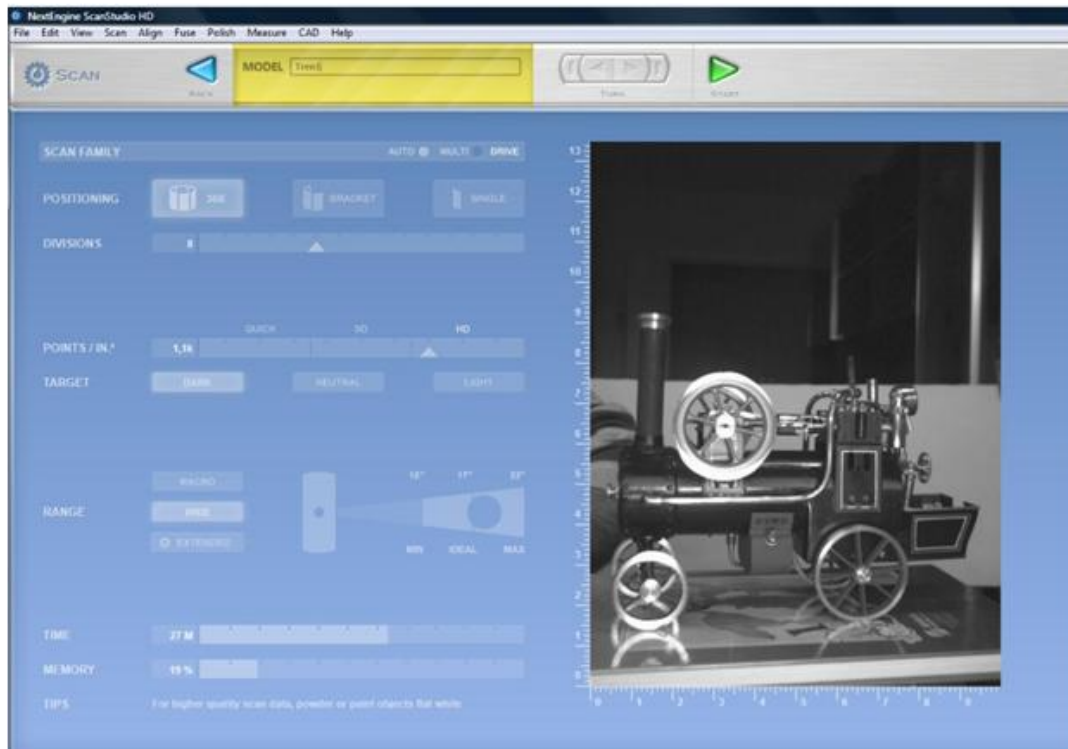


Ilustración 3 - Parámetros escaneado inicial

Los resultados obtenidos fueron ocho tomas de escasa calidad. Como puede apreciarse en la ilustración adjunta, las familias A3 y A7 apenas registran datos debido a elevada reflectividad del láser sobre los materiales pulidos.

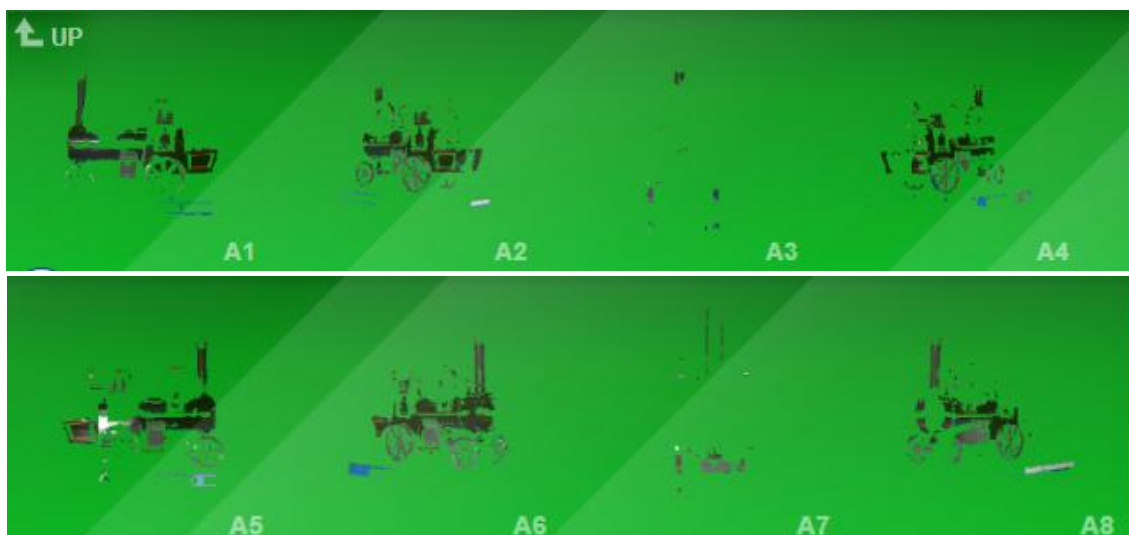


Ilustración 4 - Familias resultado escaneado inicial

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

De manera general, se observa que al realizar el proceso con el parámetro contraste en DARK las partes oscuras del objeto predominan sobre las claras, no recogiendo información relevante sobre las partes más claras.

Dada la heterogeneidad de las familias, resultó imposible la selección de los puntos comunes para realizar el alineado. Se realiza una alineación automática obteniéndose el siguiente modelo:

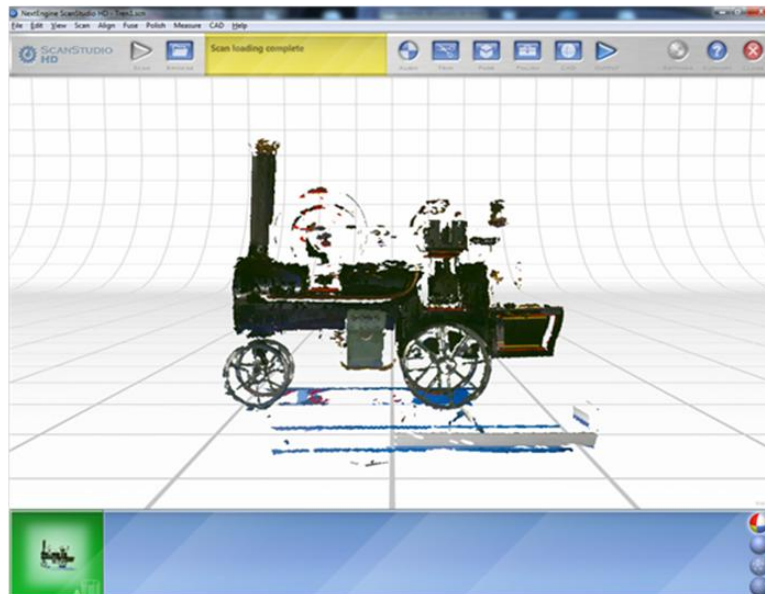


Ilustración 5 - Resultado alineación automática

Si seleccionamos la imagen sólida del modelo, se aprecia la falta de información en numerosas zonas (Ilustración 6), por lo que se diseñan nuevas capturas.

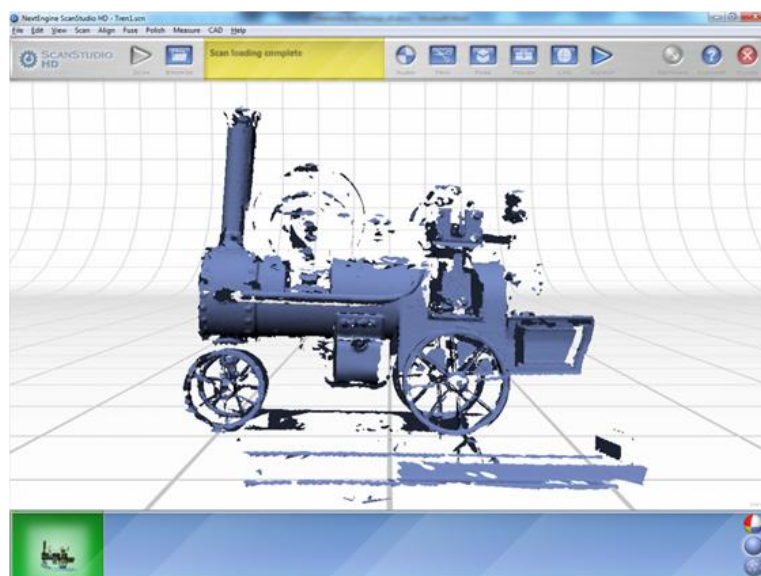


Ilustración 6 - Modelo en sólido.

#### 2.1.4. Conclusiones de la toma I

Como resultado del estudio inicial se obtienen las siguientes conclusiones.

- **Derivadas de las características intrínsecas de la pieza**

Las partes pulidas de la pieza reflejan la señal láser, no obteniéndose tomas homogéneas en cuanto a la densidad de puntos. Según el fabricante y estudios previos se aconseja el uso de polvos de talco que minoren la reflectividad del láser. Dado que es una pieza metálica, se deduce incluso la necesidad de recubrirlas con algún material adhesivo – tipo celo mate.

Adicionalmente al uso del talco y al marcado de puntos, se deduce del estudio la necesidad de realizar tomas adicionales en modo estático, tanto de las partes más brillantes y pulidas como de aquellas que presenten discontinuidad (radios de las ruedas, tuberías). En estas tomas, las partes a reforzar deberán encontrarse en una posición lo más perpendicular posible en relación al escáner.

Finalmente, las partes móviles (ruedas) deberán quedar fijas, tanto las traseras y superiores en su movimiento de rotación, como en las delanteras (rotación y traslación). Para ello, deberá buscarse algún mecanismo no permanente que acote su movimiento, garantizando así que la pieza se mantiene estable durante su manipulación y escaneo.

- **Derivadas de los parámetros fijados en la fase de escaneado**

Para disminuir el contraste entre partes claras y oscuras del objeto y garantizar que la toma de información tenga cierta homogeneidad, el parámetro TARGET del escaneado deberá fijarse en NEUTRAL.

El número de divisiones deberá ser mayor, deberá fijarse en 16 para disponer de un mayor recubrimiento entre las tomas y facilitar el alineado de las familias.

## 2.2. ESCANEADO II DEL MOTOR A VAPOR PORTÁTIL (*PORTABLE STEAM ENGINE*)

### 2.2.1. Introducción

Se escanea de nuevo la pieza teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas en el apartado anterior.

Como fase previa al escaneado, se empolva con talco toda la superficie de la pieza. Adicionalmente, las partes más pulidas se recubren con papel (la tapa de la caja de humos) o cinta adhesiva mate (la superficie de las ruedas motoras y de arrastre).

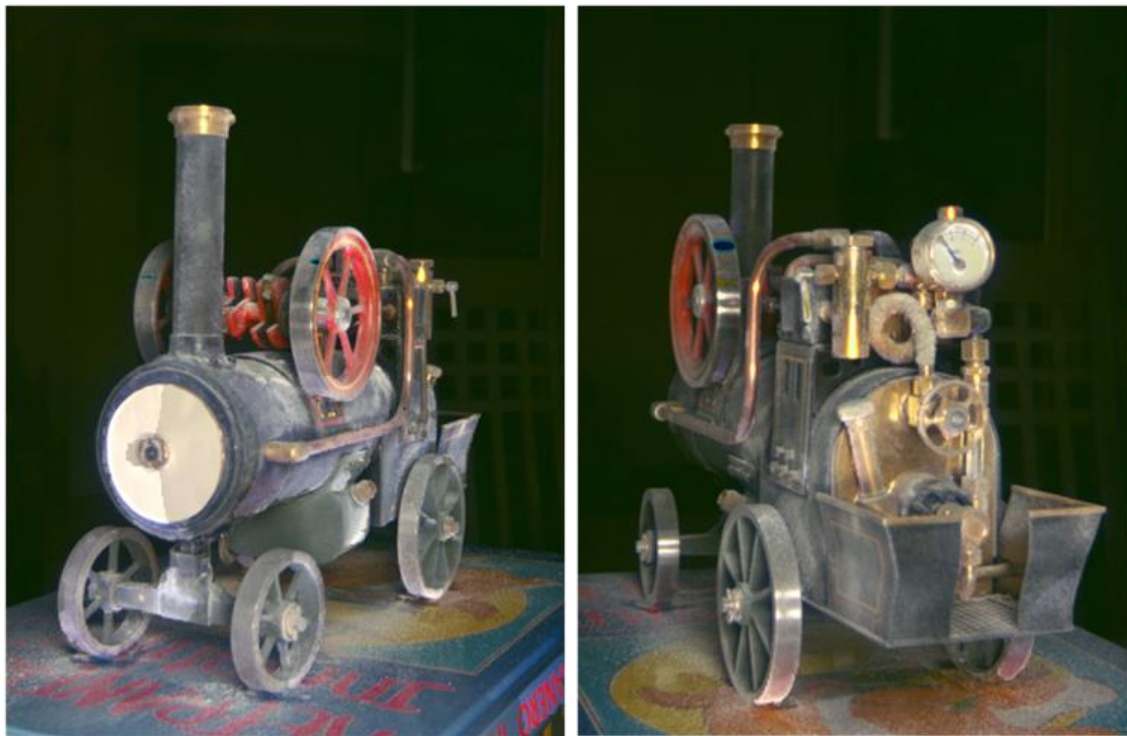


Ilustración 7 - Imágenes tratamiento previo

### 2.2.2. Escaneado de la pieza

Se procede a escanear la pieza modificando los parámetros con respecto a la fase anterior. Todas las tomas se realizan de una vez, manteniendo la posición de la base giratoria a la misma distancia (44 cm).

### 2.2.2.1. Familias A y B

Se realizan dos escaneados de la pieza en su posición natural variando el origen. Los parámetros de configuración del escáner fueron los de la tabla adjunta. Como se puede apreciar, el contraste fue configurado a Neutral por la presencia del talco:

Posicionamiento	Nº Divisiones	Calidad	Contraste	Precisión
360º	8	HD	NEUTRAL	WIDE

Tabla 1 - Parámetros escaneado familias A y B

Se obtuvieron dieciséis familias, ocho por toma (A y B). Se muestran a continuación:

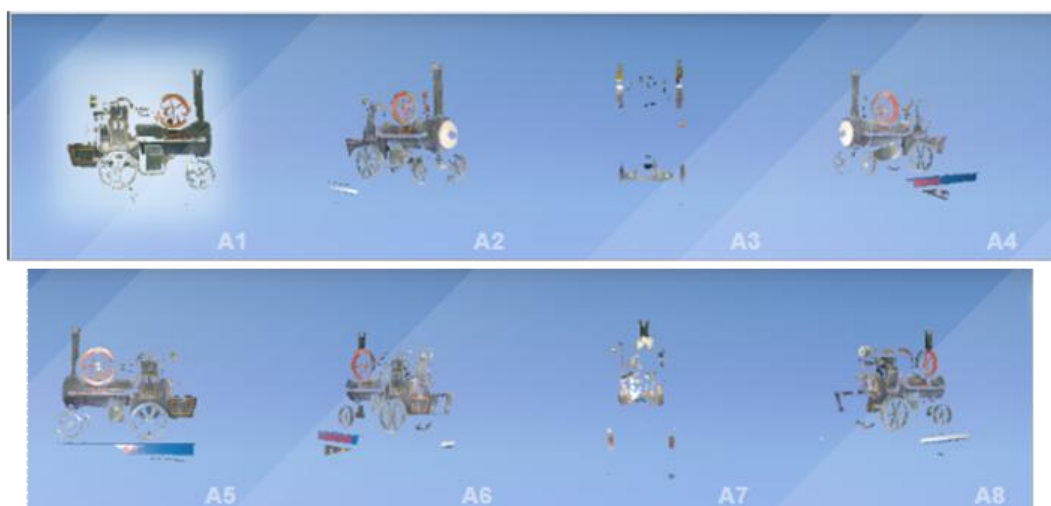


Ilustración 8 - Tomas de la familia A

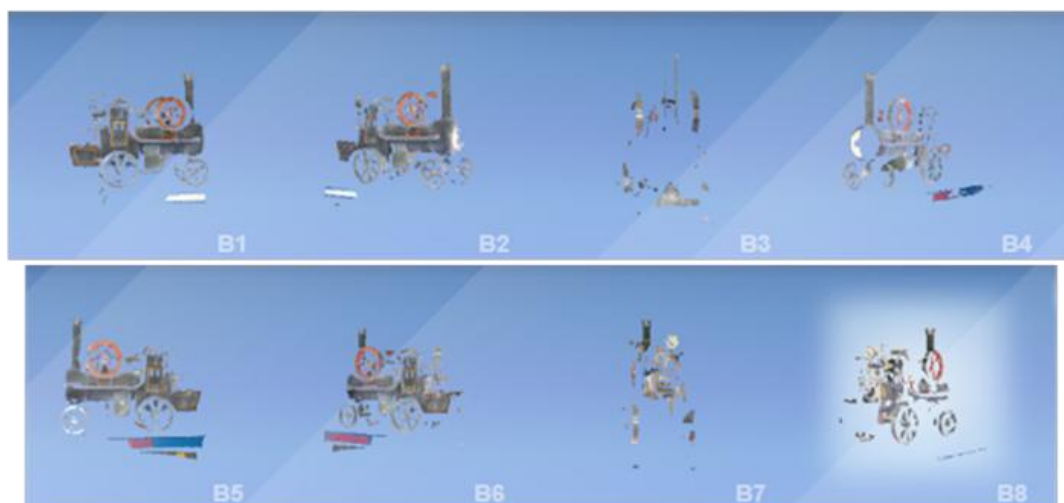


Ilustración 9 - Tomas de la familia B



### 2.2.2.2. Familias C

Para el escaneo de la pieza en esta posición, se realiza un único escaneo aumentando las divisiones a dieciséis:

Posicionamiento	Nº Divisiones	Calidad	Contraste	Precisión
360º	16	HD	NEUTRAL	WIDE

Tabla 2 - Parámetros escaneado familia C

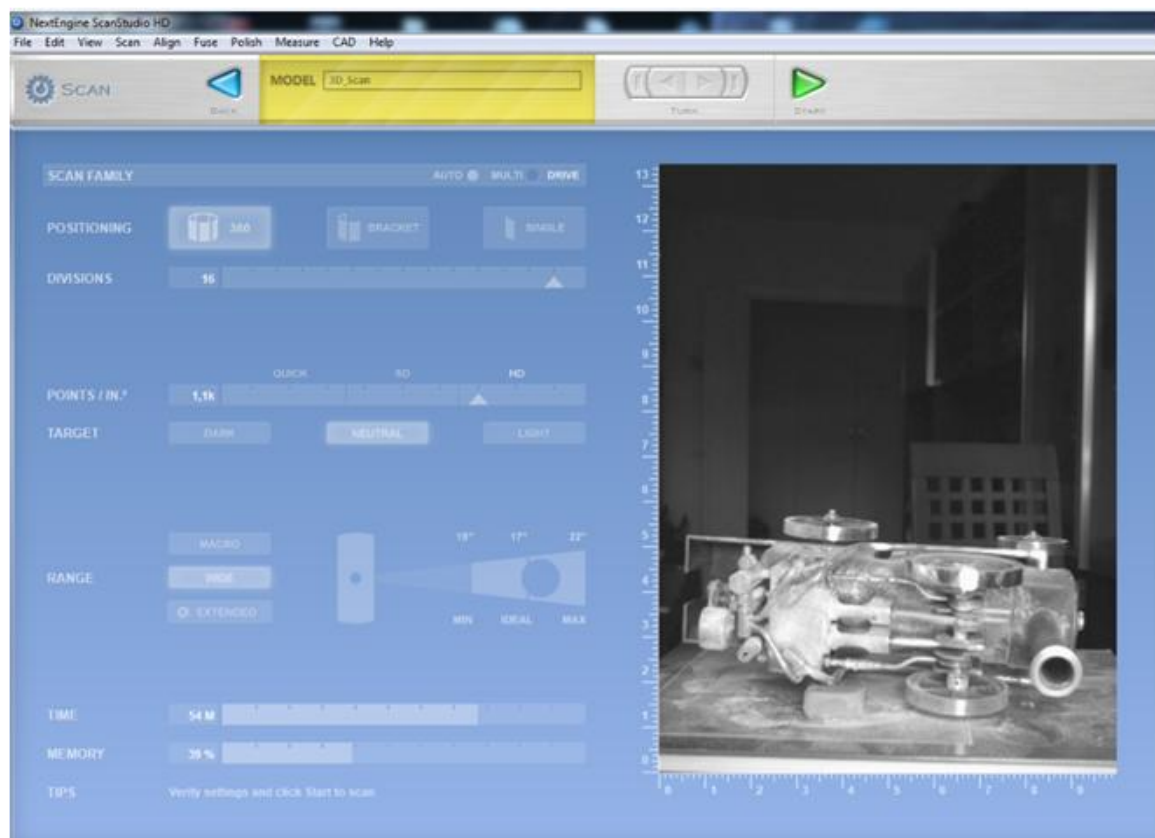


Ilustración 10- Parámetros escaneado familia C

Se obtuvieron dieciséis familias:

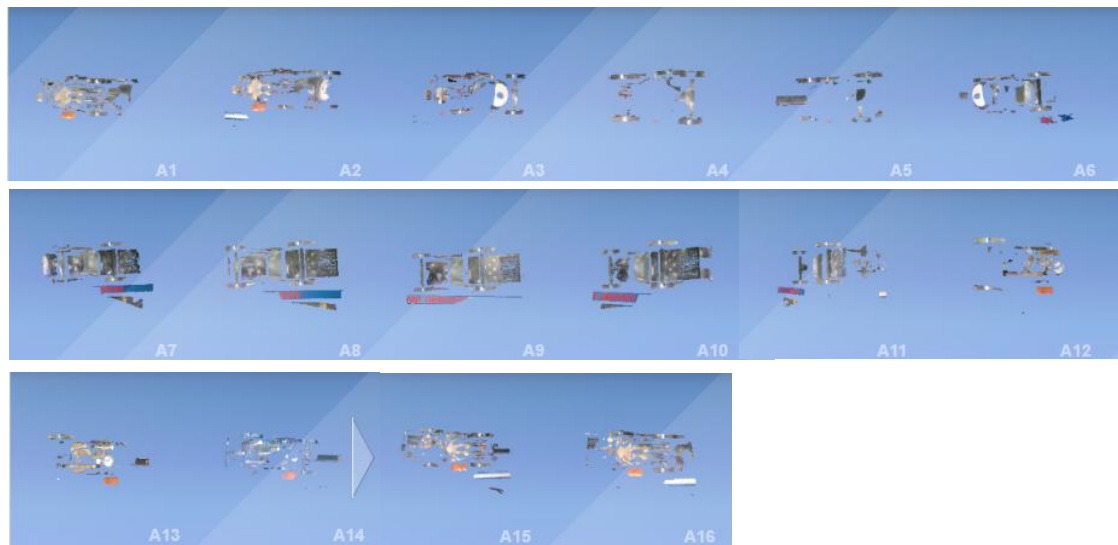


Ilustración 11 - Familias C

### 2.2.2.3. Familias E

Finalmente, se realiza el escaneado de la última posición. Como se aprecia en la ilustración adjunta, se mantiene la misma configuración del escaneado que en las tomas anteriores:

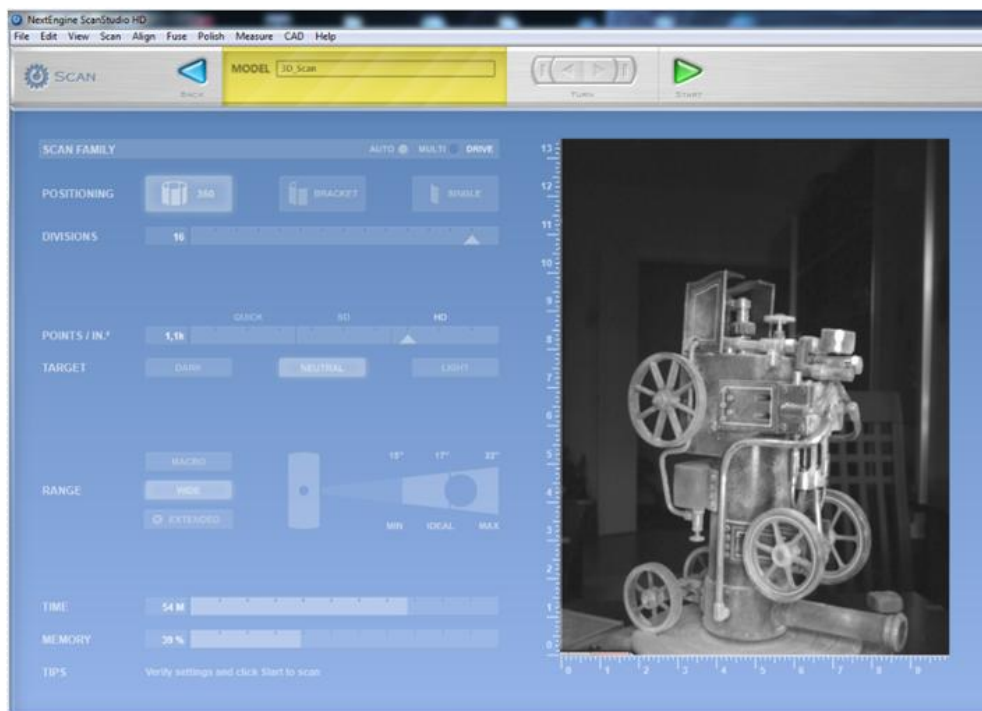


Ilustración 12 - Parámetros escaneado Familia E



Se obtienen las tomas correspondientes a la Familia E:

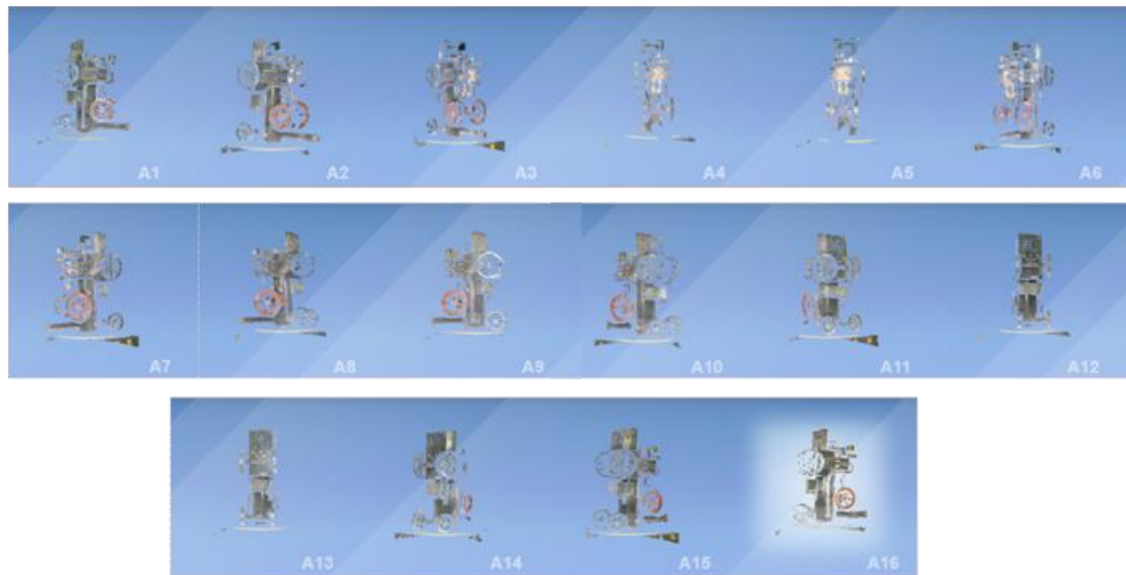


Ilustración 13 - Tomas de la familia E

### 2.2.3. Tratamiento de datos

A continuación, se realizó el tratamiento de las familias obtenidas. Como primer paso de esta fase deberán alinearse todas las tomas de una familia, para una vez alineadas individualmente alinear el conjunto y obtener el modelo.

Una vez que disponemos del modelo alineado, se realizará el corte (*Trim*) de las partes que no componen la pieza en sí (en este caso, el libro empleado como elemento auxiliar para aumentar la base de soporte).

Finalmente, se realiza la alineación final del modelo.

#### 2.2.3.1. Alineación de las tomas de una Familia

Como se aprecia en las Ilustraciones 51, 52, 54 y 55, la recogida de datos no es homogénea por toma. Por tanto, y dado que la base soporte no se ha movido, se procede a realizar una alineación automática de las familias individuales.

#### 2.2.3.2. Cortado de las familias

Una vez realizada la alineación, se procede al cortado de los elementos que no conforman la pieza.

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

La ilustración adjunta muestra el empleo de la herramienta *Trim* de los elementos auxiliares en la familia D, realizando la misma operación en cada una de las familias:

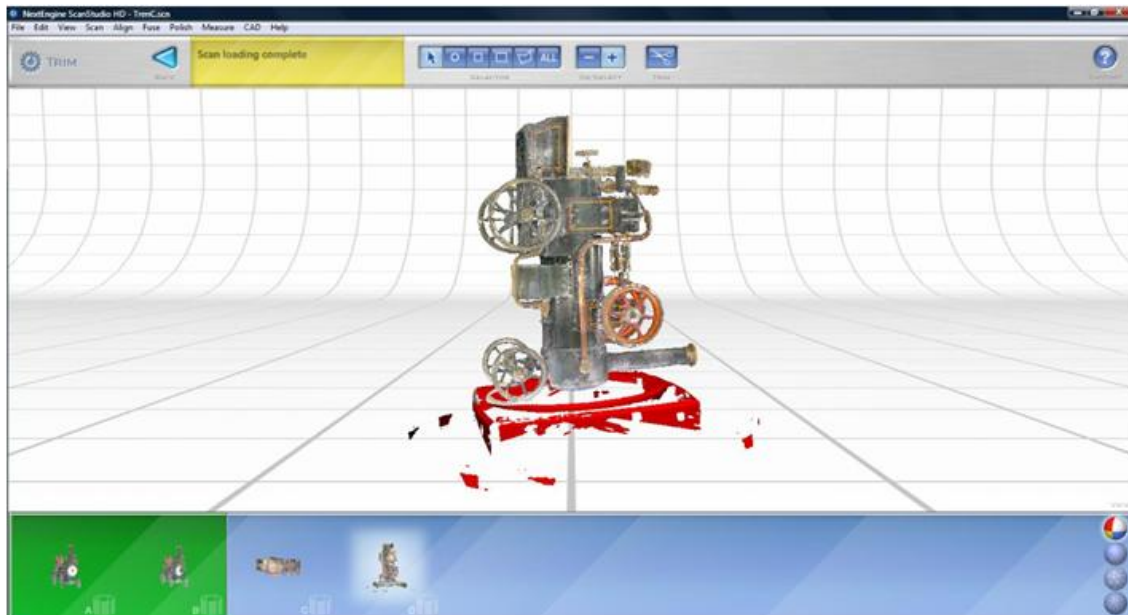


Ilustración 14 - Cortado en Familia D

### 2.2.3.3. *Alineación final del modelo*

En las imágenes posteriores se muestra la localización de pins para el alineado de las familias A y B:



Ilustración 15 - Alineación Familias A y B

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

A continuación se realiza la alineación de la familia D, con la que se tienen puntos en común. Para ello se utilizan ocho pines o chinchetas:

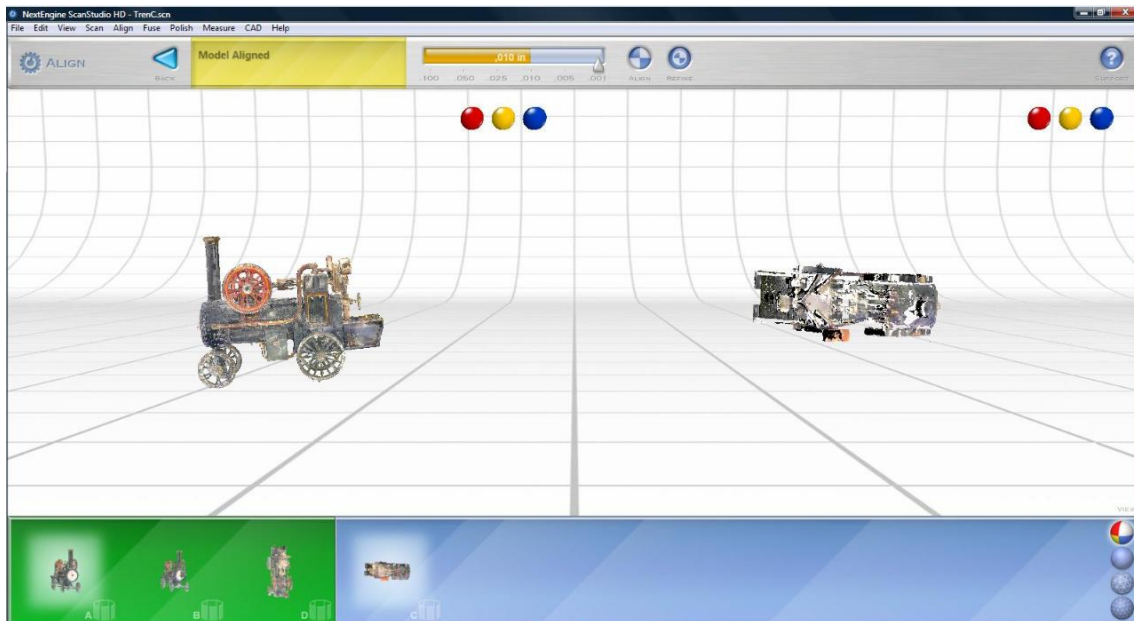


Ilustración 16 – Alineación Familia D

Se obtiene una precisión de **0,254 mm** en el proceso de alineado.

Finalmente, se alinea la familia C. Se emplean el máximo de puntos en común, y se obtiene la misma precisión (0,254 mm):

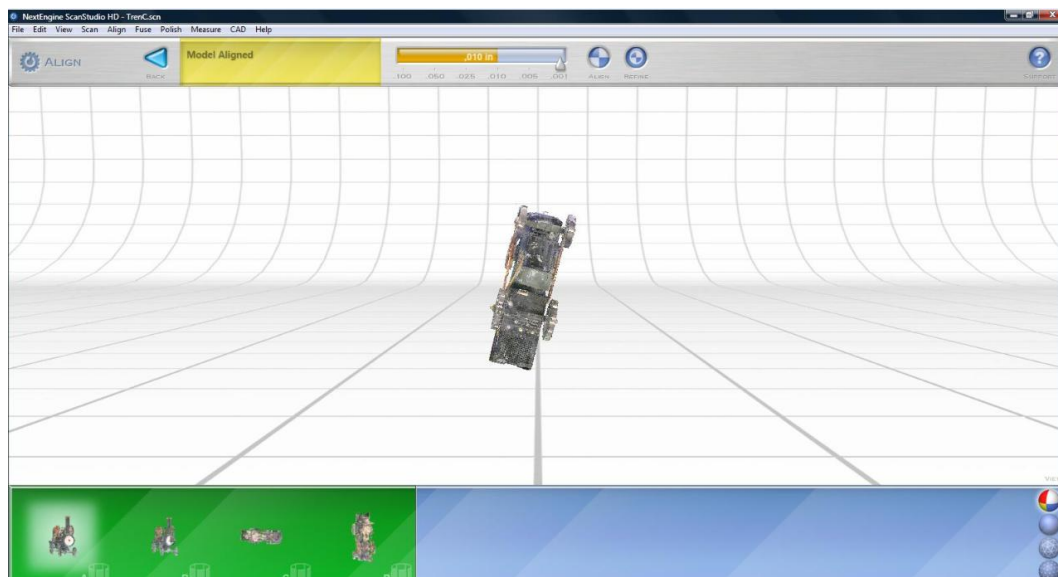


Ilustración 17 – Alineación Familia C

Las imágenes que se muestran a continuación corresponden a la visualización del modelo con textura, sin textura, malla triangular y nube de puntos.

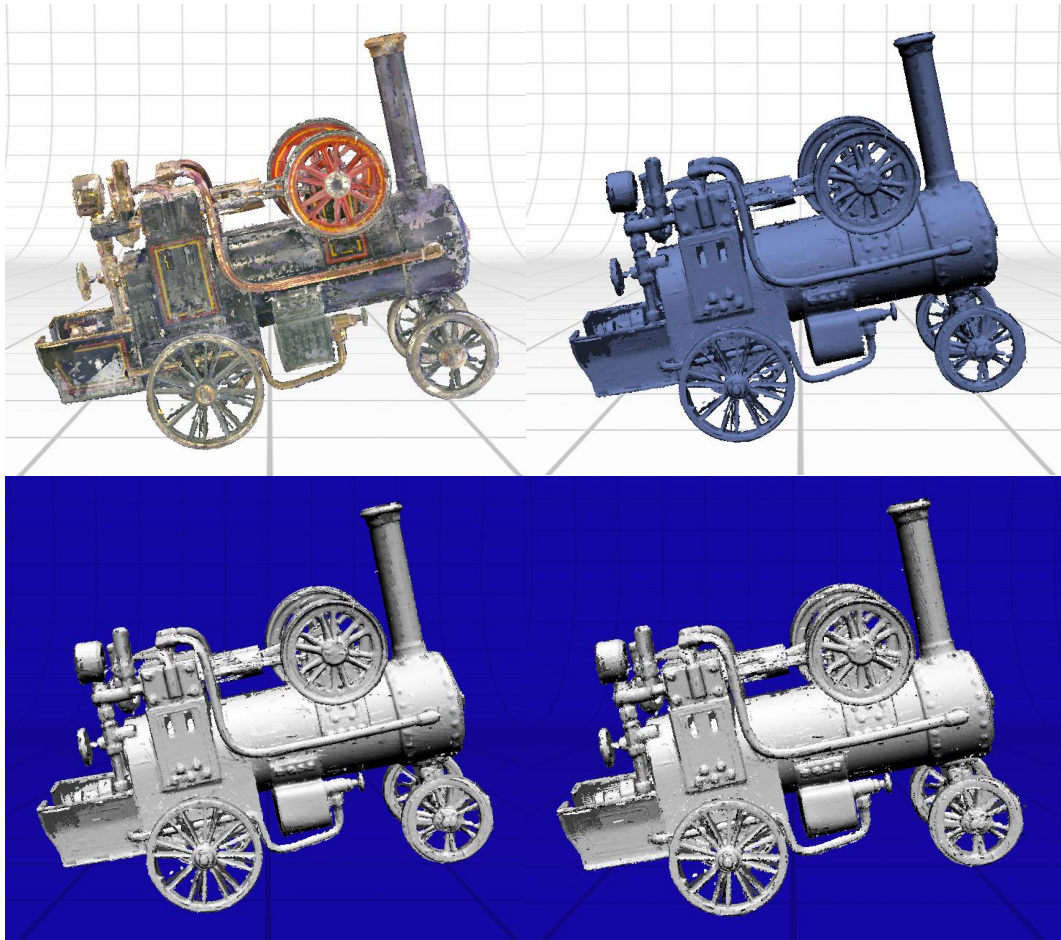


Ilustración 18 – Modelo 3D del motor a vapor portátil, diferentes modos de visualización.

Como las precisiones parciales obtenidas han sido de 0,254 mm se continúa con el tratamiento de los datos para analizar posteriormente el modelo resultante final.

#### **2.2.3.4. Fusión del modelo**

Una vez finalizado el alineado se procede al fusión del modelo, que no es más que la compilación del conjunto de imágenes y eliminación de superposiciones. Como resultado se genera una nueva familia, en este caso se corresponde con la familia C (ver Ilustración 20).

Los parámetros de configuración del proceso se muestran en la siguiente ilustración:

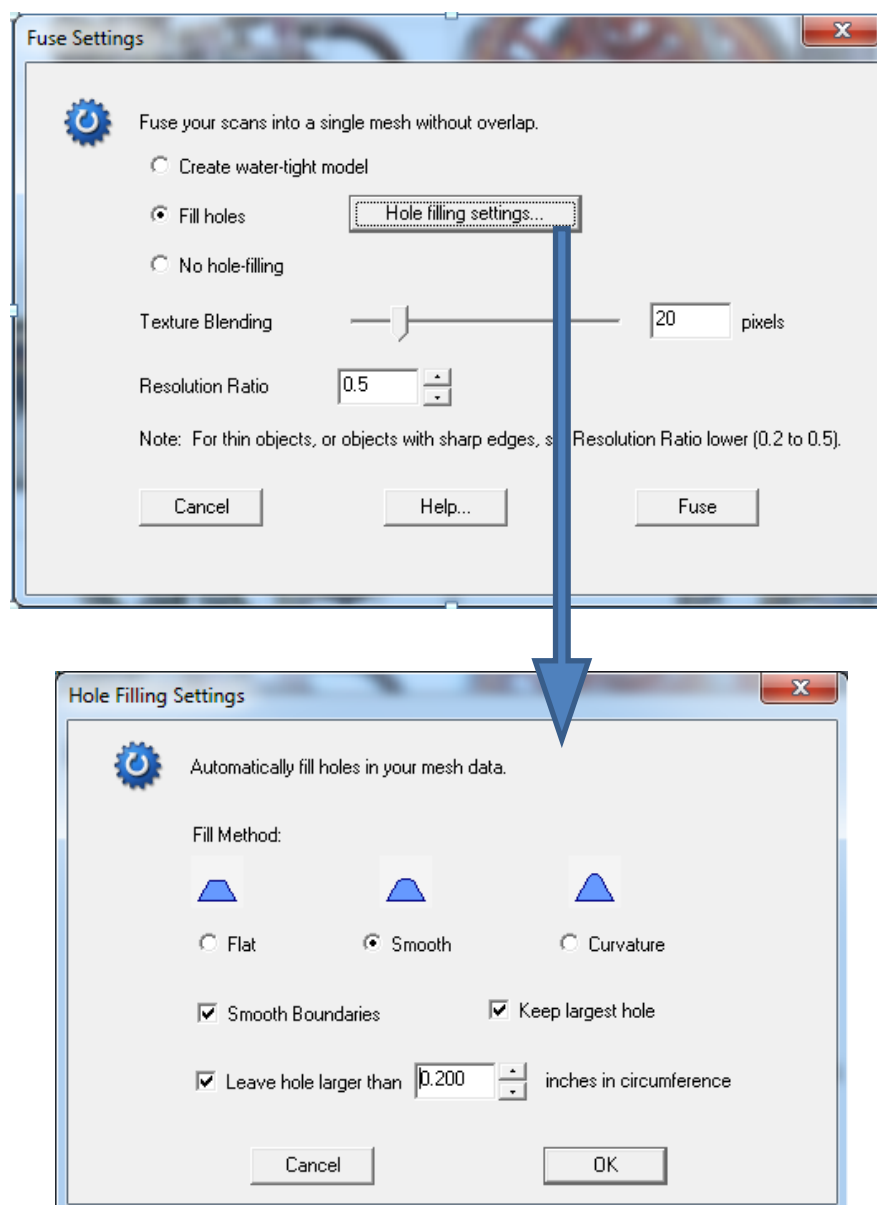


Ilustración 19 - Parámetros de fusonado

Se elige la opción *Fill Holes* para cerrar los agujeros, y se especifica que no se cierren aquellos mayores de 0.2 pulgadas (0.5 mm) que corresponden a la chimenea. Se obtiene una nueva familia C:



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

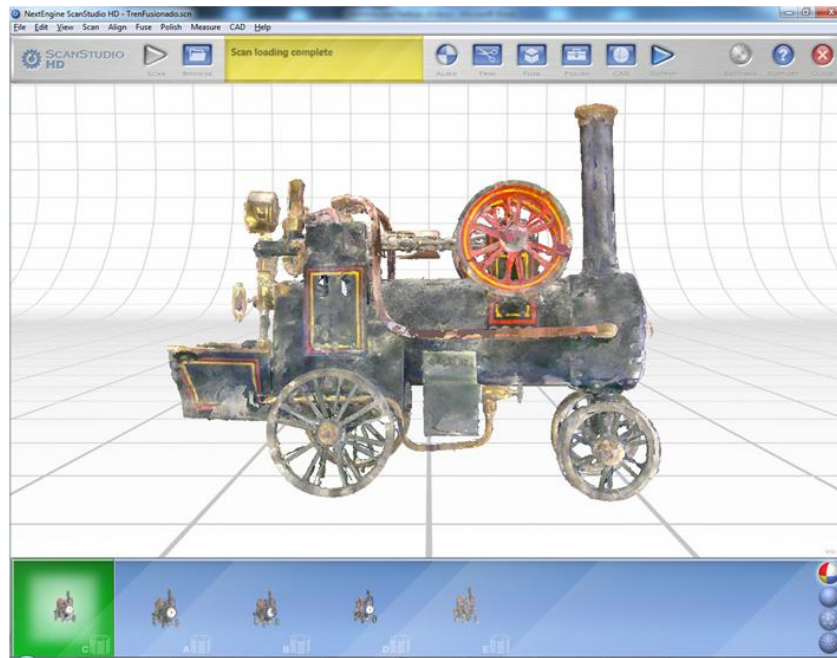


Ilustración 20 – Nueva familia C generada tras la aplicación de la herramienta Fuse

Las siguientes ilustraciones muestran diferentes visualizaciones del modelo resultante (con textura, sin textura, malla triangular, nube de puntos):

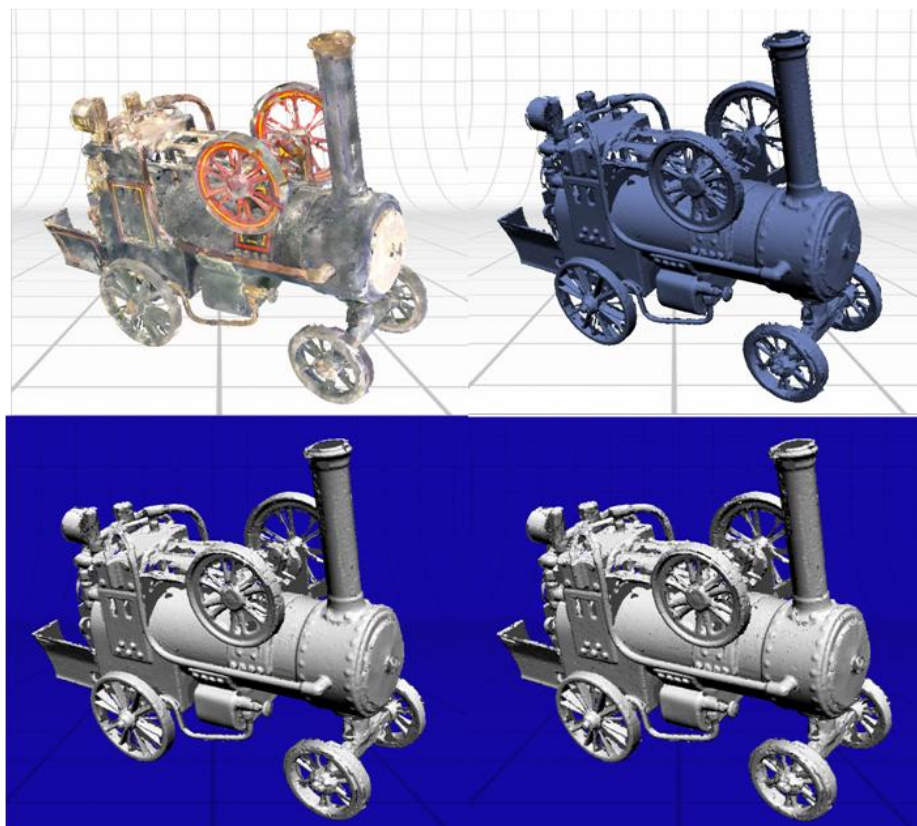


Ilustración 21 - Modos de visualización del modelo C. De izquierda a derecha: color, sólido, malla triangular, puntos

#### 2.2.3.5. Refinado del modelo

Para este modelo no se aplicaron herramientas de refinado dadas las carencias detectadas en la geometría.

#### 2.2.4. Conclusiones

Como resultado del escaneado de la misma pieza en el apartado anterior ([PIEZA 1. MOTOR DE VAPOR PORTÁTIL \(PORTABLE STEAM ENGINE\)](#)) se obtuvieron unas conclusiones que podrían resumirse en los siguientes puntos:

- Las partes pulidas de la pieza reflejaban la señal láser y, por tanto, se hacía necesario encontrar una medida que minorase dicha reflectividad. Para ello, las mencionadas partes se recubrieron con cinta adhesiva mate. La caja de la tapa de humos se recubrió con una circunferencia de papel.
- Para contrarrestar el mal comportamiento del metal ante los rayos láser, se empleó polvo de talco para recubrir toda la pieza.
- Para la obtención del modelo, se intentaron fijar las partes móviles de la pieza.
- Se ajustaron los parámetros iniciales de escaneado en cuanto al número de divisiones y color de la pieza.

A pesar de haber aplicado estas medidas, nos encontramos con un modelo final que no cubre con los objetivos del proyecto:

- La geometría del modelo resultante no se corresponde con la real, pues como puede observarse en la Ilustración 22 las ruedas, tanto superiores como inferiores, muestran sus radios duplicados. Se deduce que éstas han variado de posición al mover la pieza en los diferentes escaneados. El método empleado para su fijación fue expedito, con el objeto de no alterar permanentemente el movimiento de la maqueta.

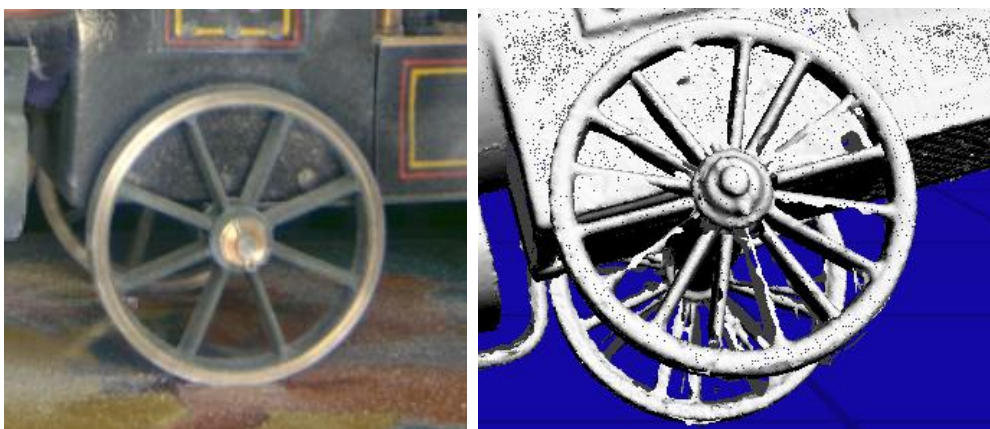


Ilustración 22 - Detalle de radios, real y modelo

- A pesar del empleo del talco, el metal sigue respondiendo mal a la señal láser. Como puede apreciarse en la Ilustración 23, no se obtienen superficies homogéneas, la malla presenta triángulos de muy diferentes tamaños. De algunas partes, como la chimenea, no se obtienen datos que permitan reproducir totalmente su geometría a pesar de haber aumentado el número de divisiones de cada toma (Ilustración 24).

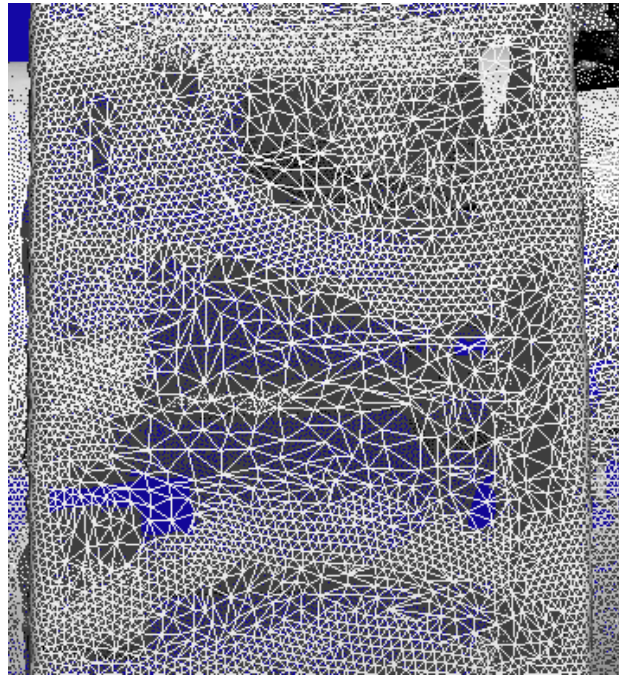


Ilustración 23 – Malla de triángulos, parte inferior de la pieza.

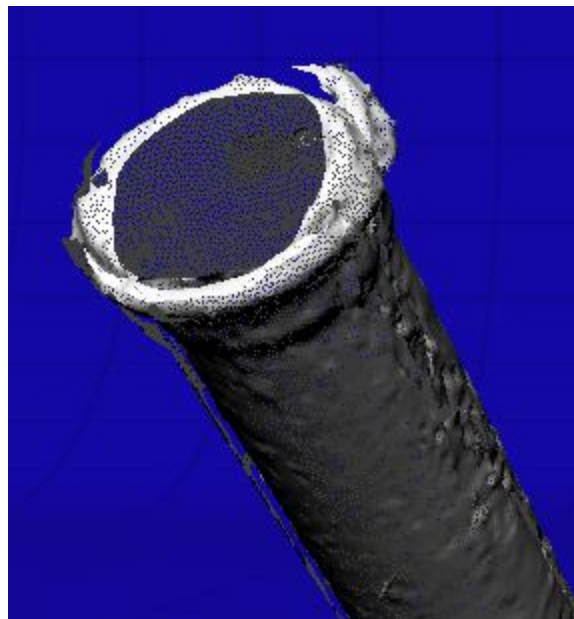


Ilustración 24 - Detalle de la chimenea.



Por todo lo anterior, y teniendo en cuenta la discontinuidad espacial de la pieza (tuberías superpuestas longitudinalmente a la caja de humos, relojes, manijas, etc.) que hace que siempre queden partes ocultas en el proceso de escaneado, se concluye en este proyecto fin de carrera la necesidad de seleccionar otros equipos láser escáner 3D si el objetivo del proyecto fuese el levantamiento de objetos metálicos de esta categoría, desechando el equipo NextEngine para estos trabajos. Otros equipos posibles para este tipo de levantamientos serían el Konica Minolta V9, David Laser Scanner, etc.

## 2.3. PIEZA 3. MOTOR STIRLING

### 2.3.1. Introducción

#### 2.3.1.1. *Objetivo*

Una vez iniciado el análisis del comportamiento de diferentes materiales ante el escáner láser, se procede al escaneado de un motor Stirling.

El objetivo de esta prueba es doble:

- Por un lado, estudiar si la señal láser del escáner responde mejor al metal si se simplifica la geometría de la pieza.
- Por otro lado, realizar un estudio del comportamiento del láser ante el metacrilato.

Como punto de partida, la pieza se recubre totalmente con polvos de talco.

#### 2.3.1.2. *Descripción de la pieza*

El motor de aire caliente Stirling utiliza una fuente de calor fija para calentar aire en su cilindro. Se le puede considerar de combustión externa y proceso adiabático, ya que no requiere quemar combustible en su interior y al operar, no transfiere calor al entorno. Su movimiento obedece a las diferencias de presión de aire, entre la porción más caliente y la fría. El mecanismo central de un motor Stirling consiste de dos pistones/cilindros, uno para disipar calor y para desplazar aire caliente hacia la sección fría (y viceversa). En la práctica este cilindro funciona como intercambiador de calor y se le denomina regenerador. El otro pistón entrega la fuerza para aplicar torque al cigüeñal.

Utilizando un diseño adecuado de un motor Stirling, es posible obtener dos pulsos de fuerza por cada vuelta del cigüeñal, lo que hace de este motor el más eficiente que se conoce. Sin embargo, adolece de un problema que lo condena a ser el propulsor de un número limitado de maquinaria: no es posible ponerlo en funcionamiento en forma instantánea.

El escocés Robert Stirling (1790-1878), inventó este tipo de motor en 1816. Otra contribución importante en el desarrollo de esta máquina automotriz fue la del francés Sadi Carnot (1796-1832), quien fue el primer científico en realizar una interpretación teórica del funcionamiento de los motores térmicos, estableciendo los principios físicos que participan en su movimiento. Esta teoría permitió comprender con mayor claridad, el fenómeno que permite al motor Stirling producir fuerza motriz.

Las partes básicas de un motor Stirling se muestran en la siguiente ilustración:

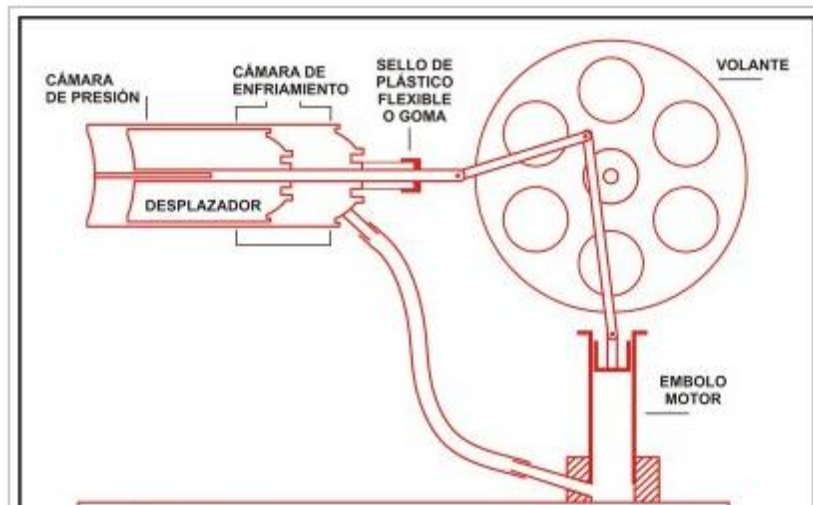


Ilustración 25 - Esquema básico de un motor Stirling

El motor empleado en este PFC fue construido manualmente, al igual que la pieza anterior (Motor a vapor portátil). Tiene unas dimensiones de 10 cm de largo, por 10 cm de ancho por 15 cm de alto. Su volante es de metacrilato, principal material objeto de estudio de esta prueba.

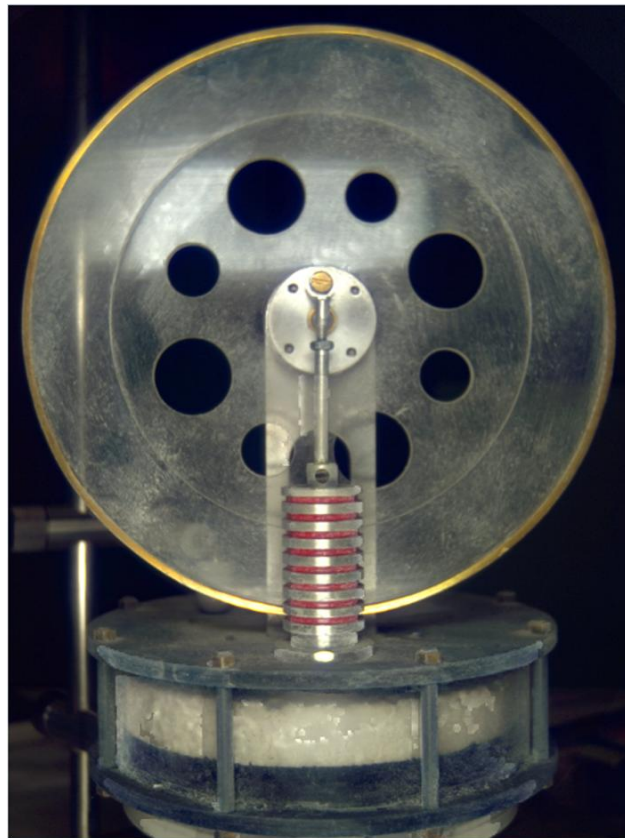


Ilustración 26 - Motor Stirling objeto de estudio

### 2.3.2. Escaneado de la pieza

Para esta pieza se realizan tres escaneados consecutivos a una distancia de 23 cm, cada uno correspondiente a las tres posiciones de la pieza que nos permitirán tomar puntos en todas sus dimensiones.

Los parámetros de configuración de las tomas son los siguientes:

Posicionamiento	Nº Divisiones	Calidad	Contraste	Precisión
360º	16	HD	NEUTRAL	MACRO

Destacamos que el número de divisiones se ha subido a 16 para que haya el mayor recubrimiento posible y, así, facilitar y asegurar la precisión en el proceso de alineación de los modelos.

#### 2.3.2.1. Familia A

El proceso se inicia con el escaneado del motor en su posición natural. Se obtienen dieciséis tomas:

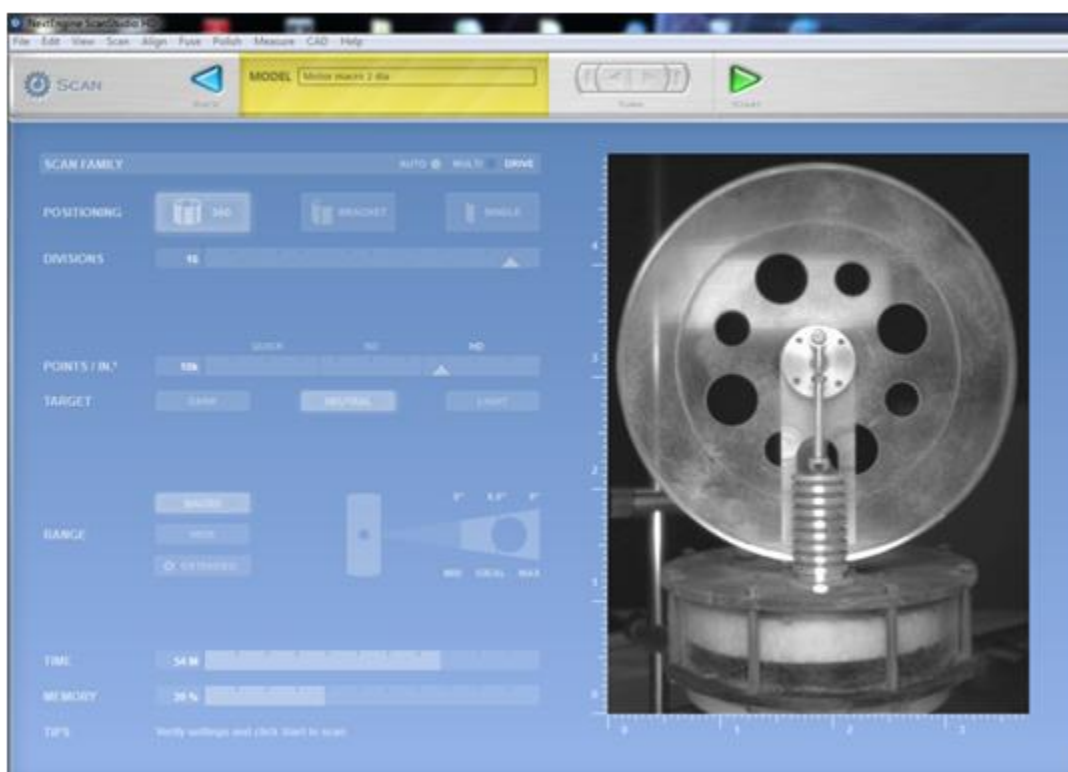


Ilustración 27 - Parámetros escaneado familia A.

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

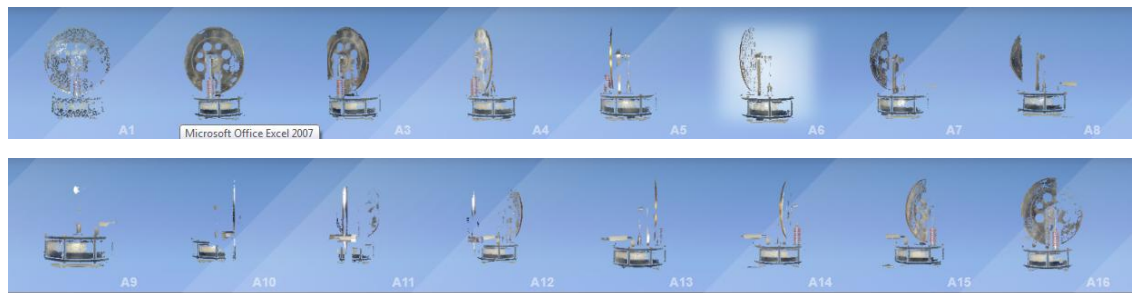


Ilustración 28 - Tomas de la familia A

### 2.3.2.2. Familia B

Esta familia se obtiene como resultado de escanear la pieza en posición horizontal. Los parámetros del escáner y la distancia pieza – escáner se mantienen.

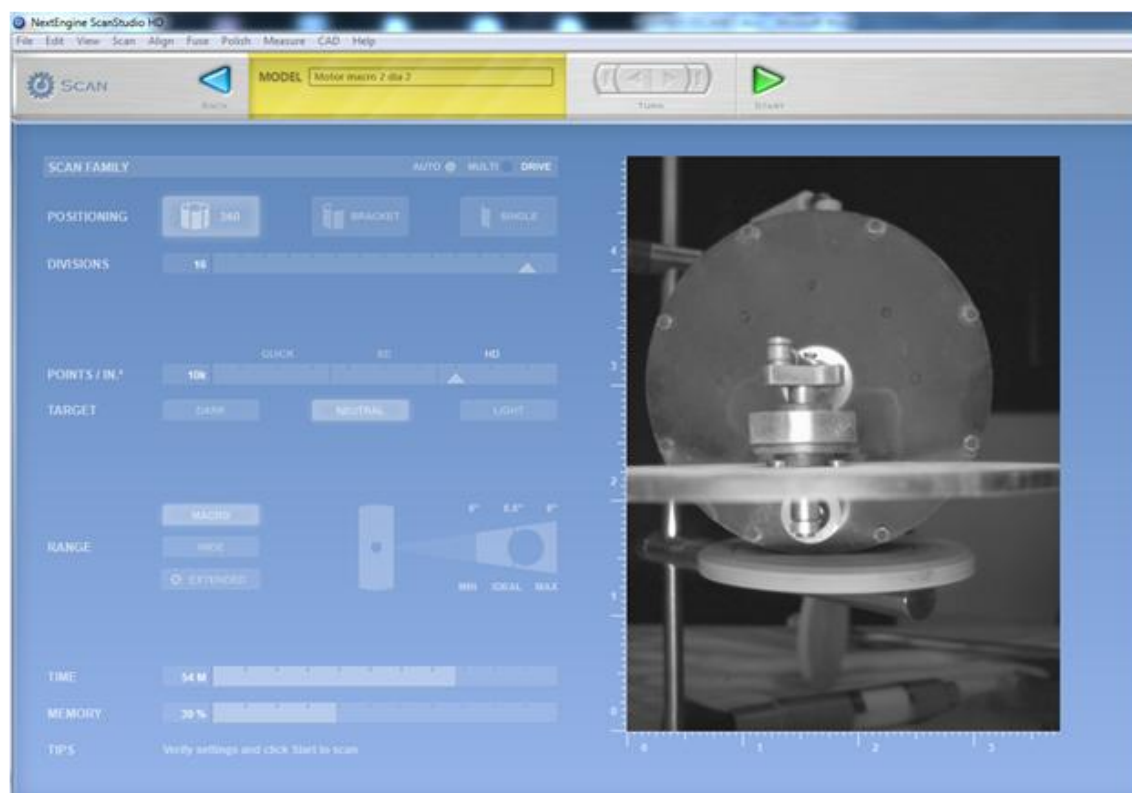


Ilustración 29 - Parámetros escaneado familia B.

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Se obtienen dieciséis tomas más:



Ilustración 30 - Tomas de la familia B

### 2.3.2.3. Familia C

Se realiza un último escaneado a la misma distancia y mismos parámetros:

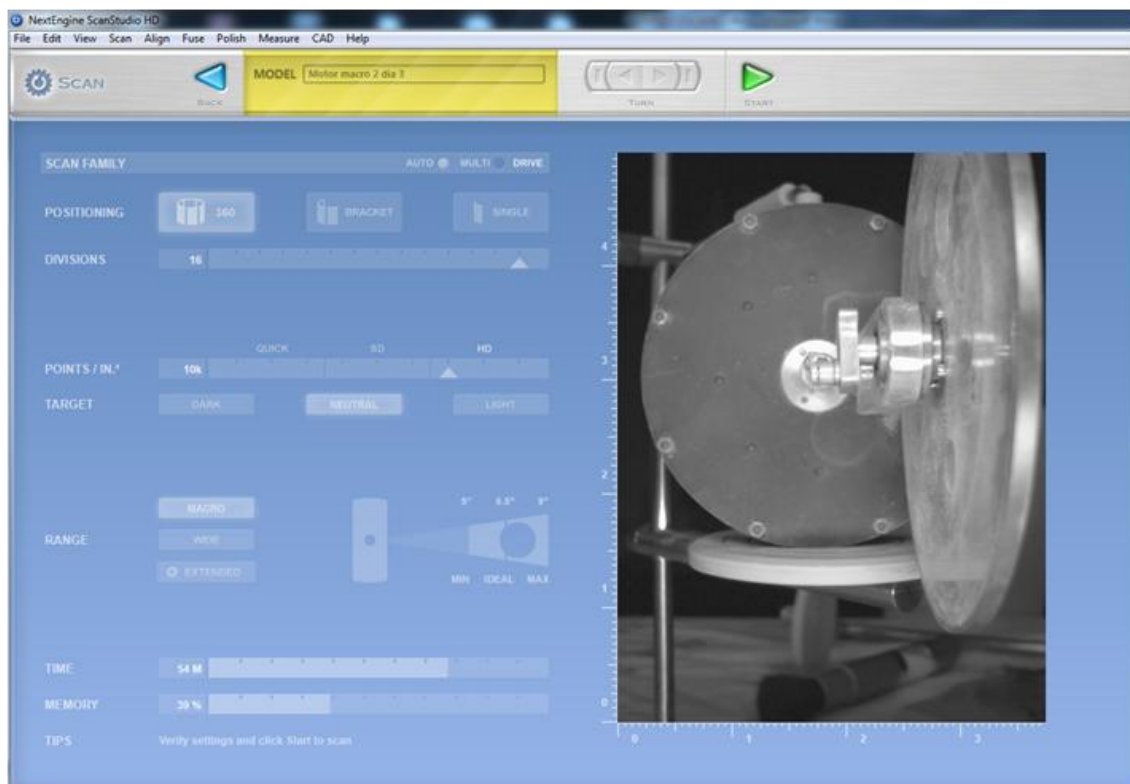


Ilustración 31 - Parámetros escaneado familia C.

Y se obtienen las dieciséis últimas familias:

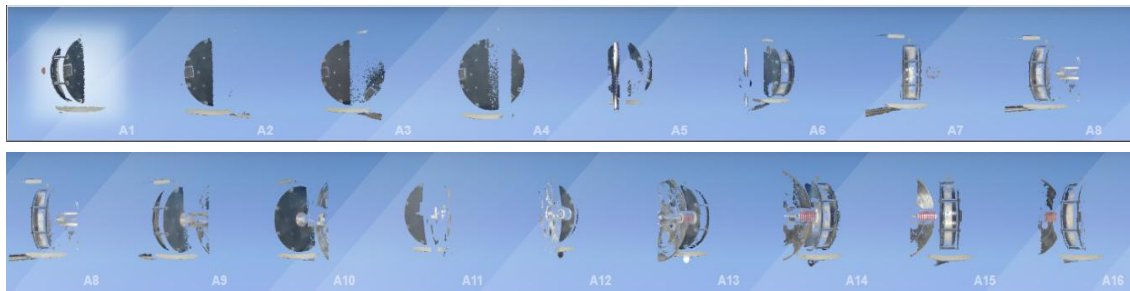


Ilustración 32 - Tomas de la familia C

### 2.3.3. Tratamiento de datos

A continuación, se realizó el tratamiento de las familias obtenidas. Como primer paso de esta fase deberán alinearse todas las tomas de una familia, para una vez alineadas individualmente alinear el conjunto y obtener el modelo resultante.

Una vez que disponemos del modelo alineado, se realizará el corte (*Trim*) de las partes que no componen la pieza en sí.

Finalmente, se realiza la alineación final del modelo.

#### 2.3.3.1. Alineación de las tomas de una Familia

Como se indicó anteriormente, se aumentó al máximo el número de divisiones para tener mayor zona de recubrimiento de la pieza y facilitar el alineado. Por este motivo, se procede a realizar la alineación manual de las tomas de cada familia. Para ello primeramente se hace un desacople (*Detach*) de las tomas que componen la familia, y a continuación, se procede a realizar la alineación mediante la localización de chinchetas. De cada alineación de cada una de las tomas se obtiene su precisión.



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Las siguientes imágenes muestran el alineado de algunas tomas de la familia A:

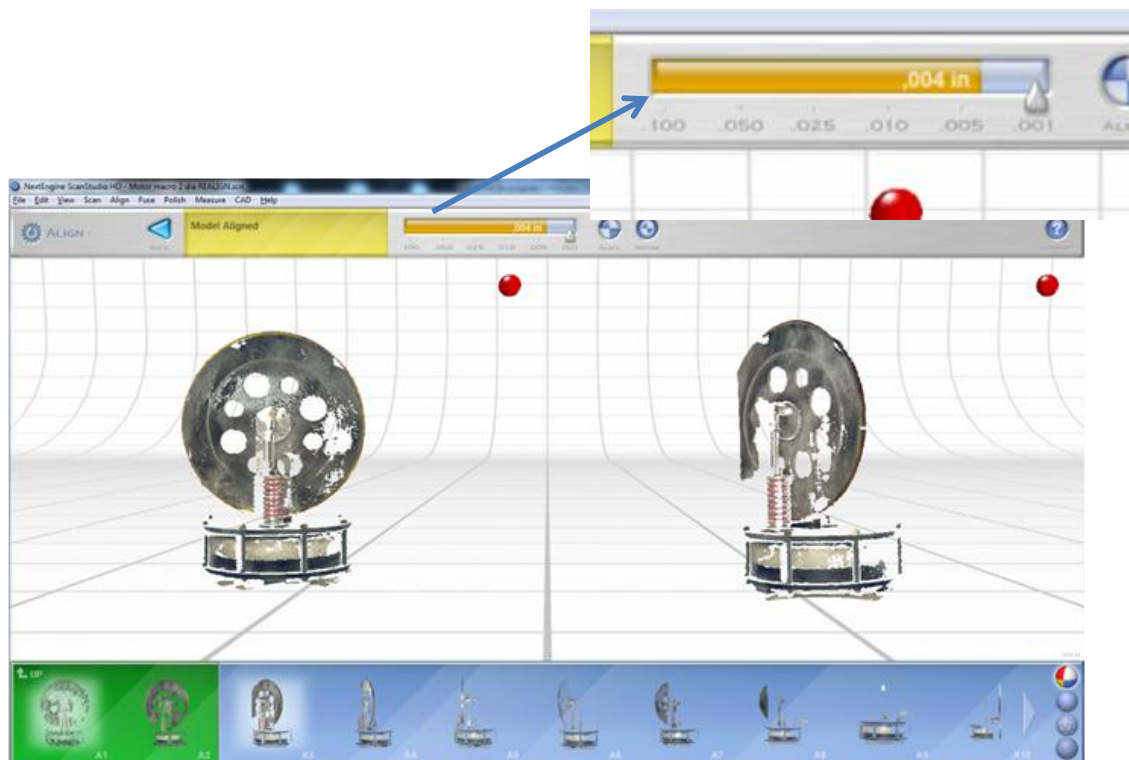


Ilustración 33 - Alineación tomas A1 y A2

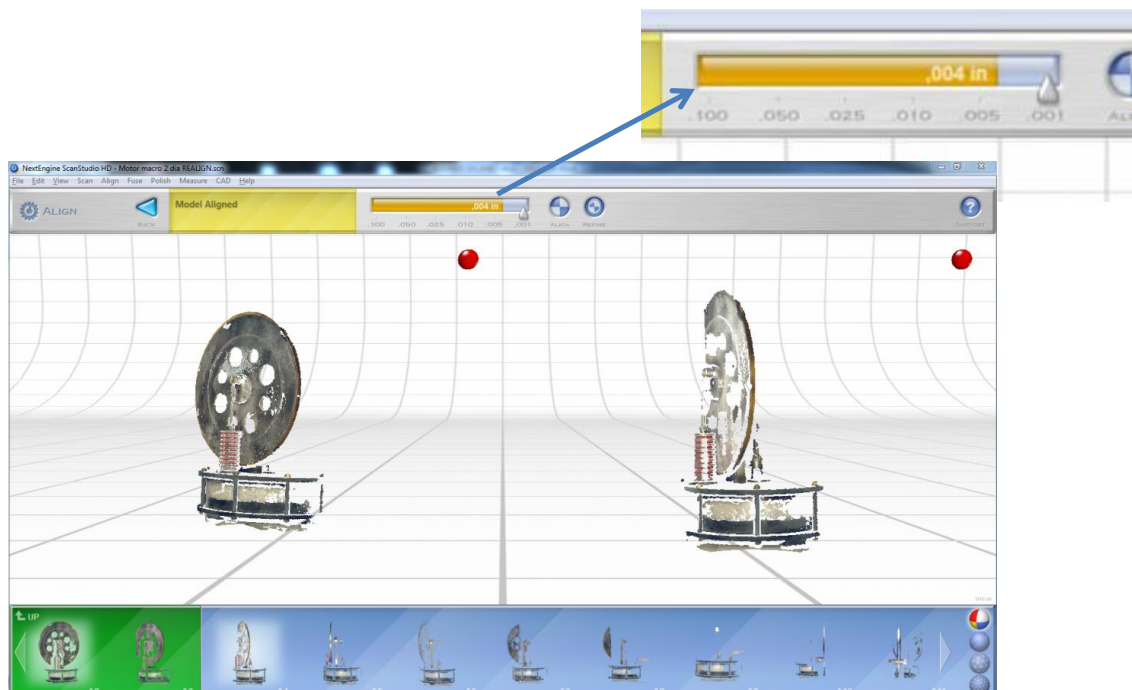


Ilustración 34 - Alineación toma A3



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Tras la alineación de todas las tomas, se obtiene la alineación de la Familia A con una precisión de 0,005 in (0,127 mm), que se considera dentro de la tolerancia permitida.

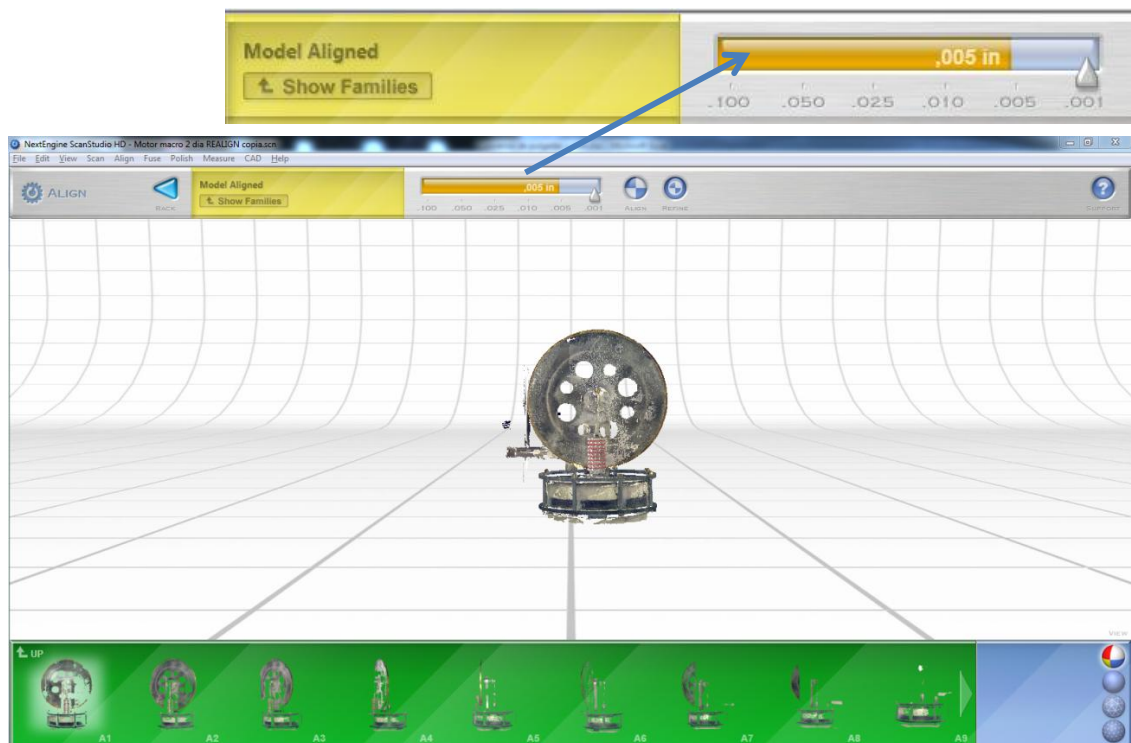


Ilustración 35 - Alineación final Familia A

Se procede igualmente para la familia B. La siguiente imagen muestra la dificultad en el alineado manual en este punto, es decir, en la identificación de puntos comunes para la alineación de las tomas de una familia:



Ilustración 36 - Localización de puntos comunes en tomas Familia B

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Se obtiene una precisión de 0,007 in (0,178 mm) en la alineación final de esta familia B.

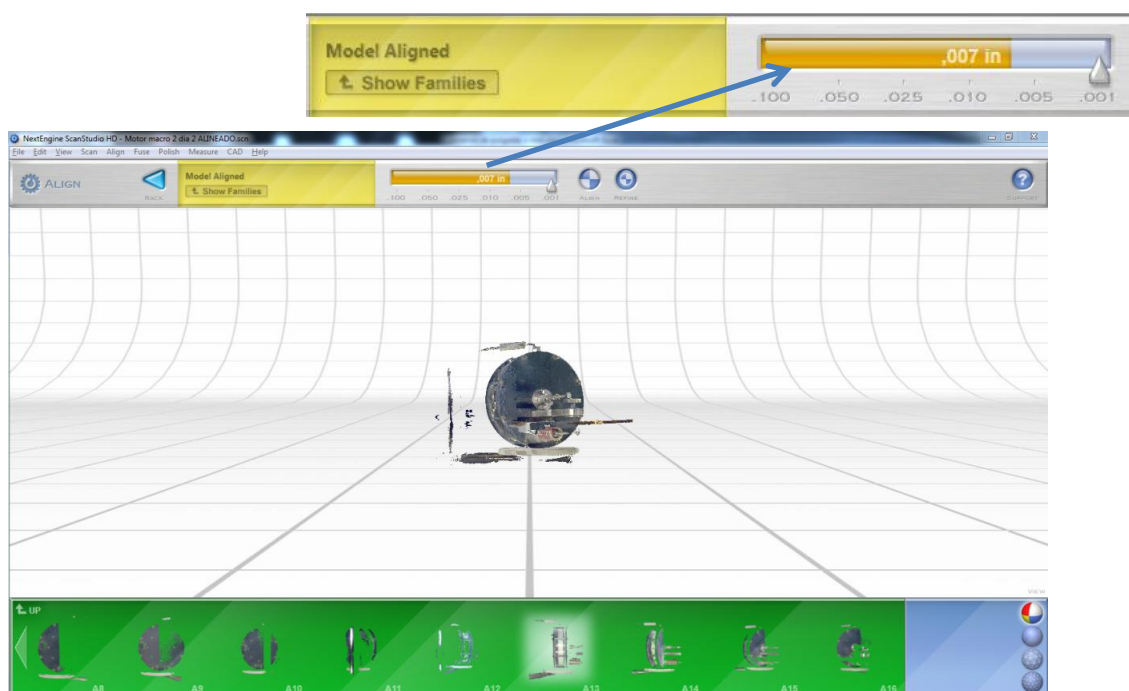


Ilustración 37 - Alineación final Familia B

Finalmente, se obtiene una precisión de 0,004 in (0,102 mm) en la alineación final de la familia C.

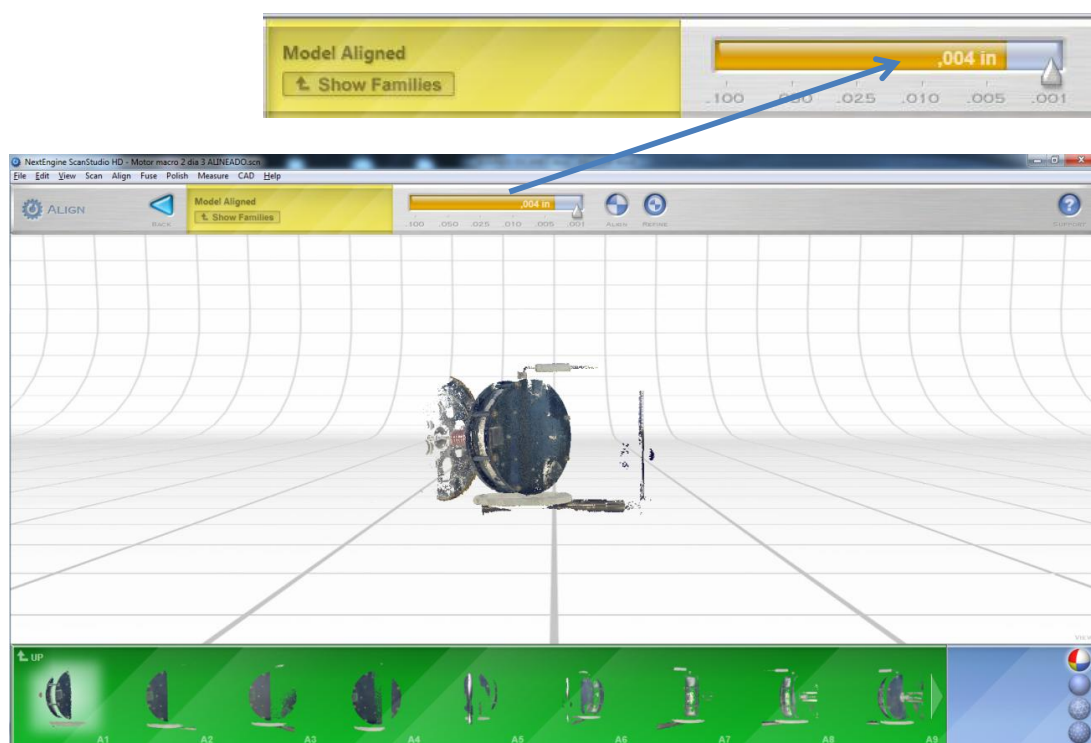


Ilustración 38 - Alineación final Familia C

### 2.3.3.2. *Cortado de las familias*

Una vez alineadas las tomas de cada una de las familias, se procede a cortar los elementos auxiliares empleados en la sujeción de la pieza durante el escaneado, así como los elementos que se hayan registrado y no pertenezcan a la pieza.

Es un proceso laborioso que requiere cierta habilidad en la visión espacial, siendo imprescindible manejar y conocer perfectamente los comandos de giro, desplazamiento y zoom del programa, que se ejecutan pulsando uno o dos botones del ratón a la vez que se realizan desplazamientos del mismo.

La siguiente imagen muestra el proceso de cortado de las barras soporte de la familia A:

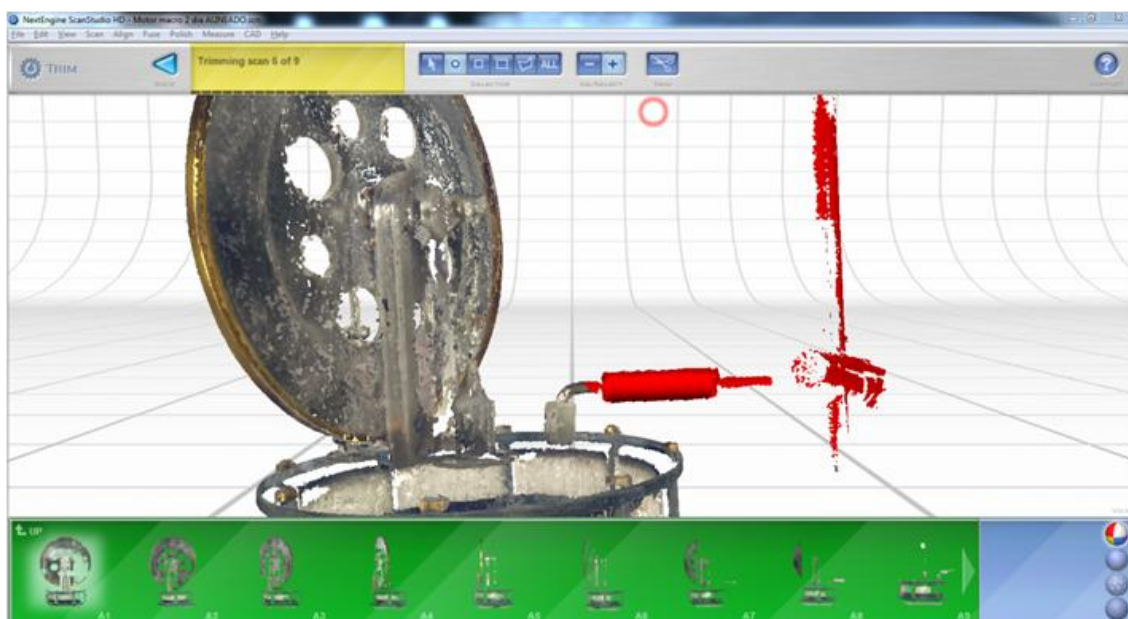


Ilustración 39 - Cortado (Trim)

### 2.3.3.3. *Alineación final del modelo*

Una vez que hemos alineado las diferentes tomas de cada familia, y se ha eliminado el ruido existente, se realiza el alineado de las familias.

El proceso es el mismo que el detallado en el apartado 3.3.3.1 [Alineación de las tomas de una Familia](#). Deberán localizarse un mínimo de 3 puntos por familia para obtener una precisión válida.

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Primeramente se alinean las familias B y C, cuyas tomas se realizaron en posiciones similares. Se emplean 9 puntos, tal y como se muestra en la imagen adjunta:

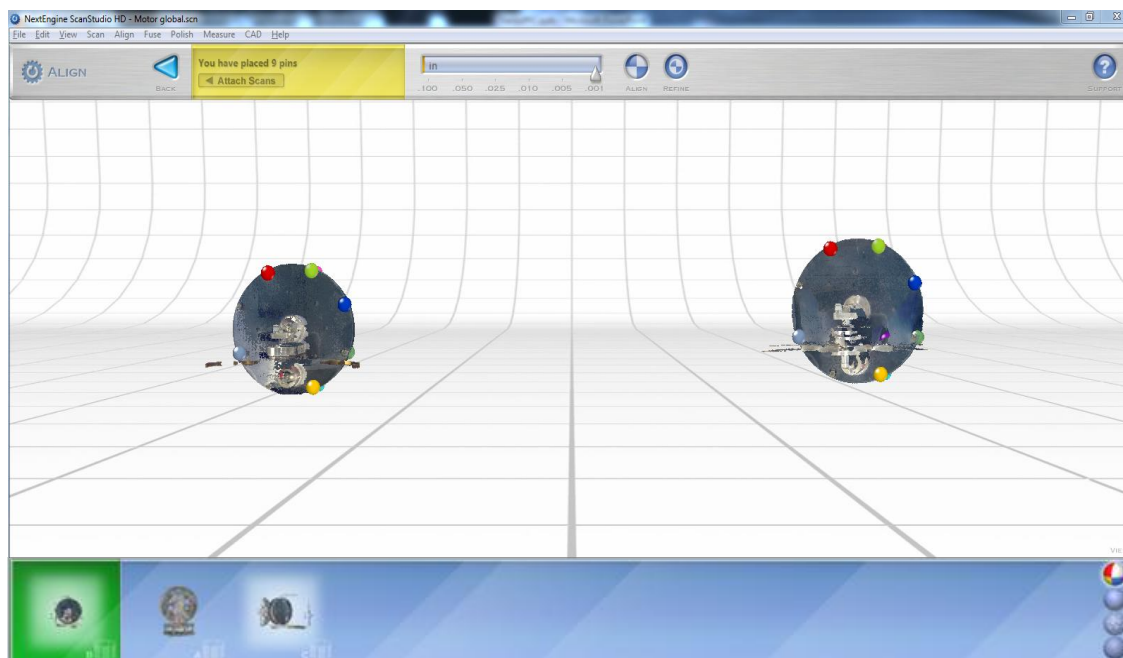


Ilustración 40 - Alineación Familias B y C

Se obtiene una precisión en esta alineación de 0.004 in (0,102 mm).

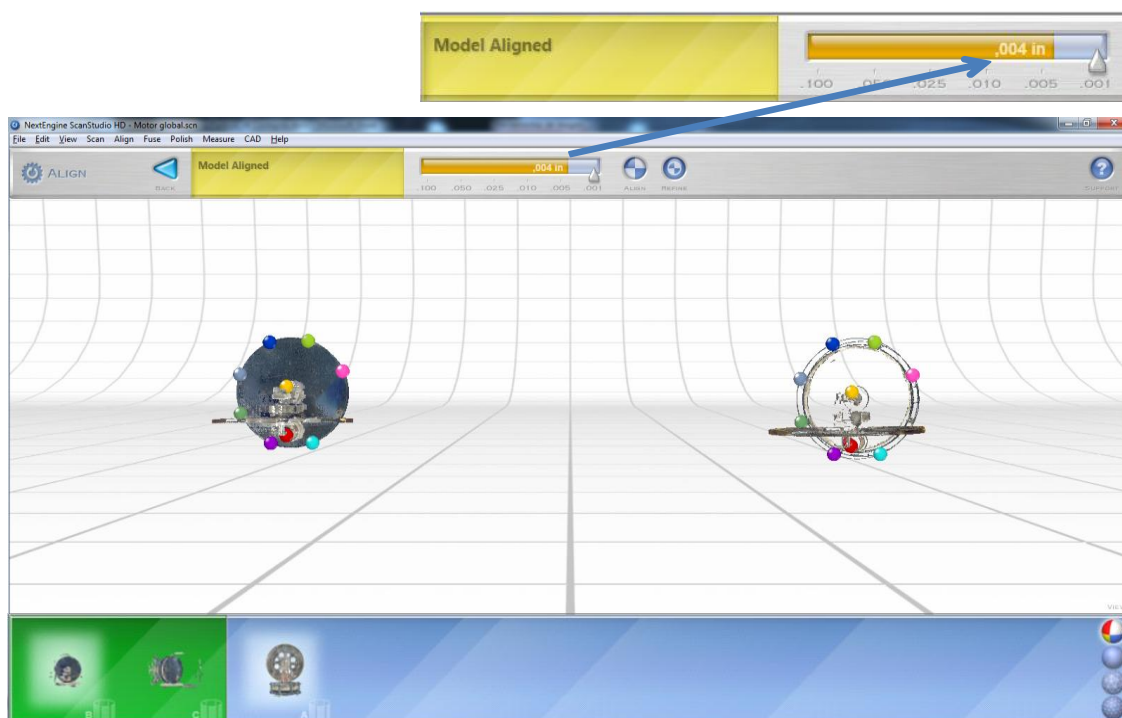


Ilustración 41 - Precisión alineación B y C



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

A continuación, se procede al alineado de la primera familia, obteniéndose una precisión de 0,006 in (0,152 mm) en la alineación del modelo.

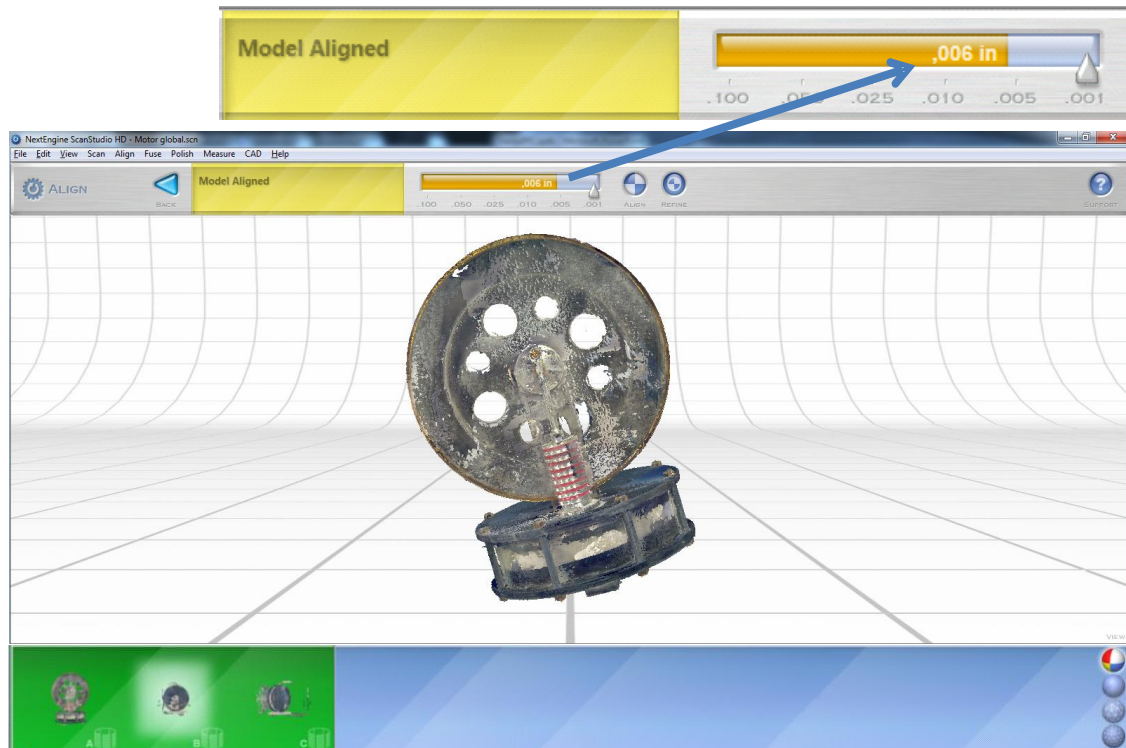


Ilustración 42 - Alineación final del modelo y precisión

### 2.3.3.4. Fusión del modelo

Una vez finalizado el alineado, se establecen los parámetros del fusiónado. La siguiente ilustración detalla dichos parámetros:

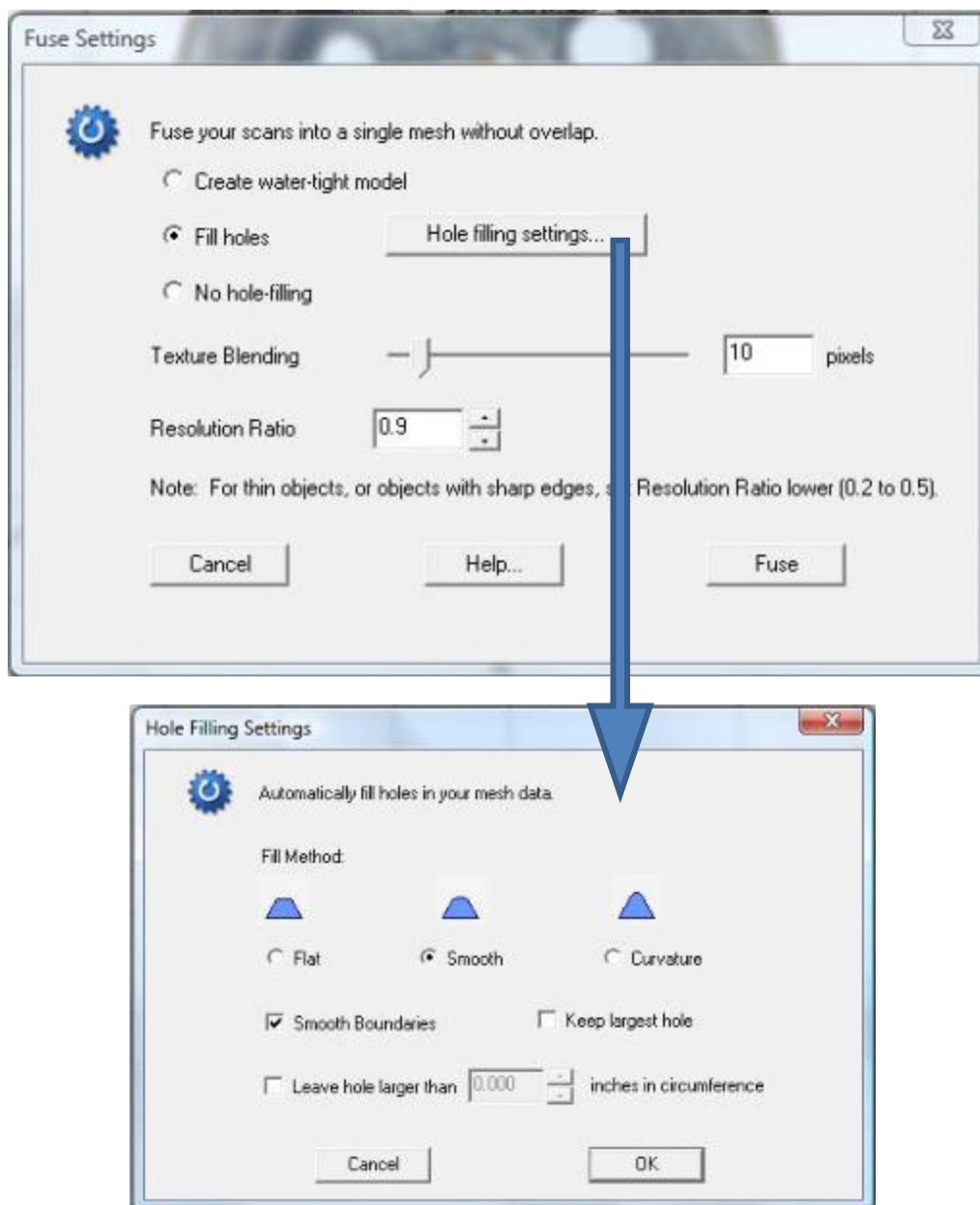


Ilustración 43 - Parámetros del fusionado

Tras la aplicación de la herramienta de fusionado, en la que se eliminan superposiciones y se genera una única malla a partir de la compilación de todas las imágenes, se obtiene una nueva familia como se muestra a continuación:



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

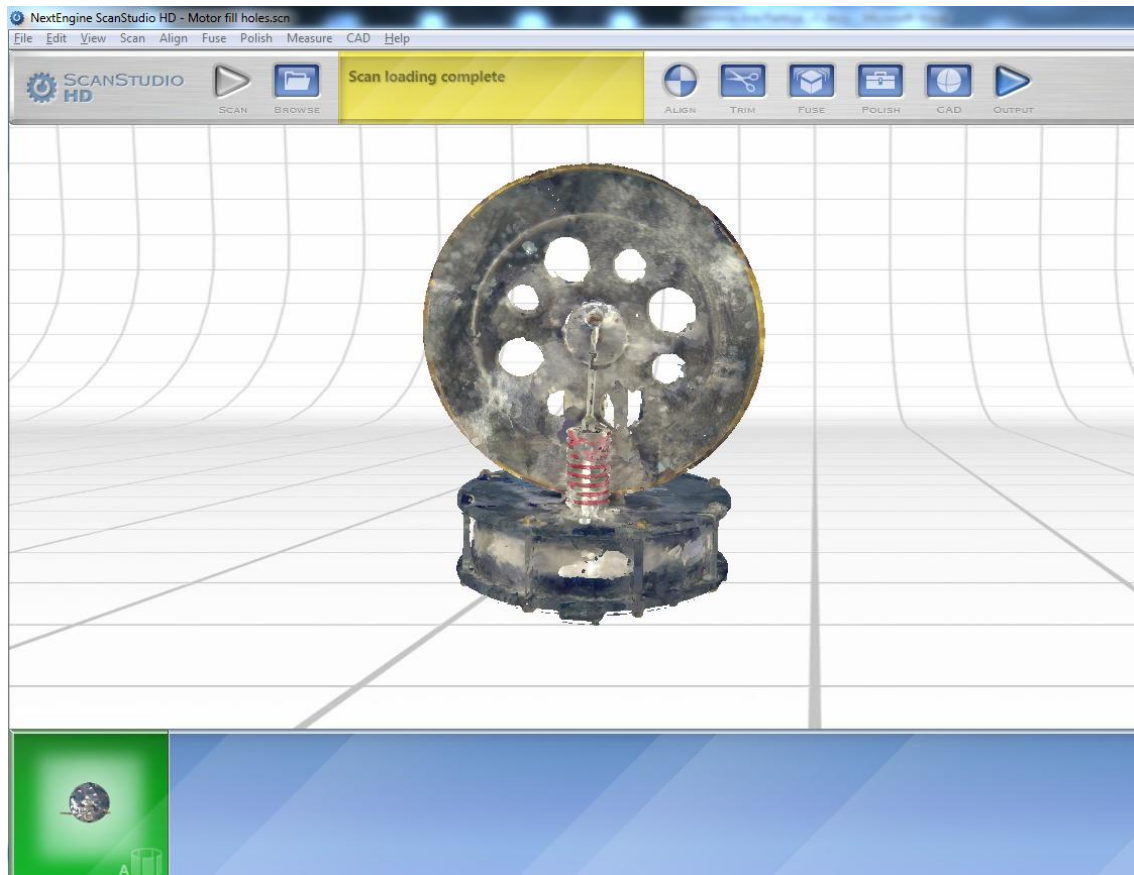


Ilustración 44 - Modelo resultante tras la fusión

A continuación, se presenta el modelo bajo los diferentes modos de visualización que permite el programa:

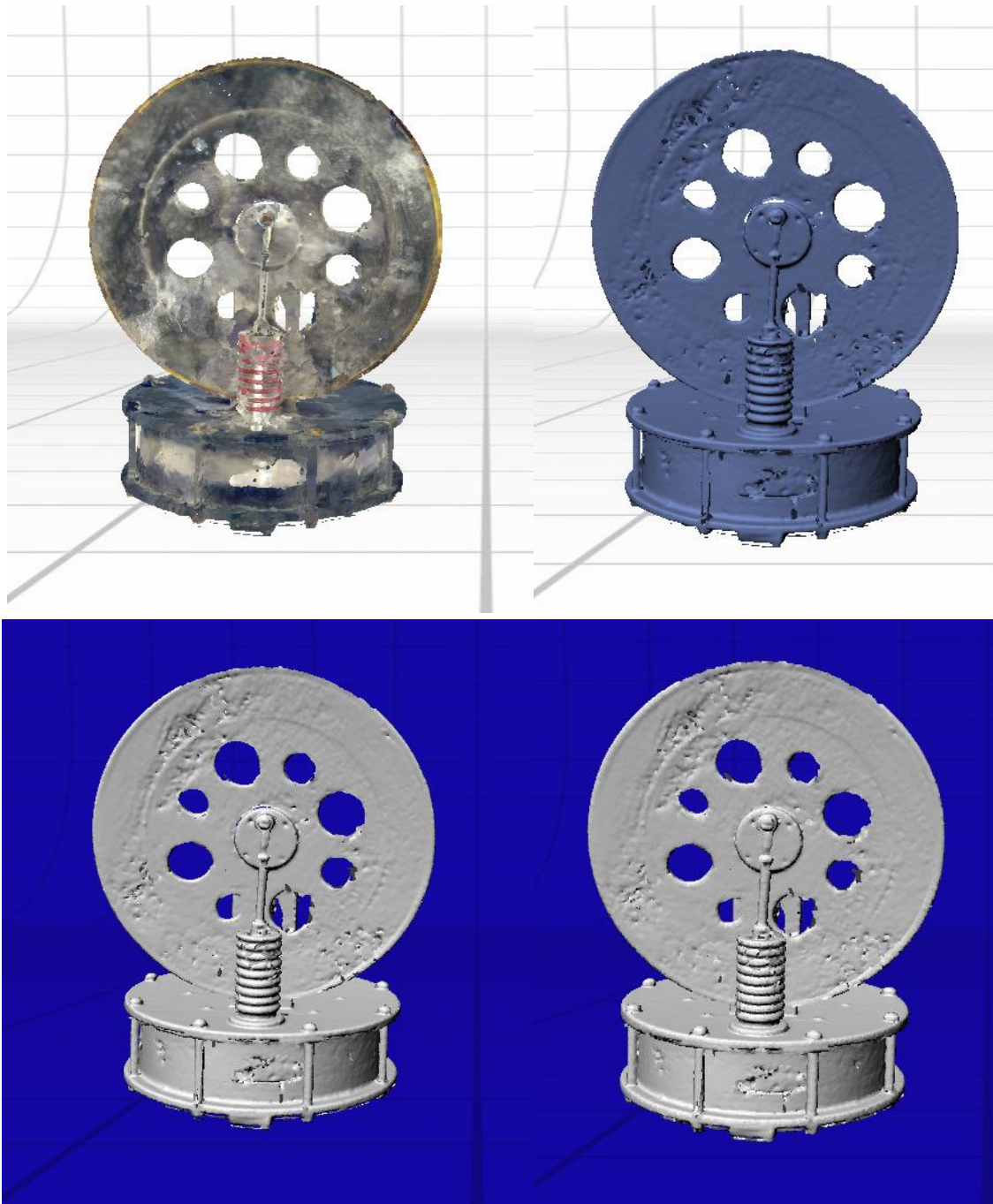


Ilustración 45 - Modos de visualización del modelo resultante. De izquierda a derecha: color, sólido, malla triangular, puntos

#### 2.3.3.5. Refinado del modelo

Para este modelo no se aplicaron herramientas de refinado dadas las carencias detectadas en la geometría.

#### 2.3.4. Conclusiones

Tras el estudio realizado, se comprueba que el resultado final es un modelo que presenta numerosas diferencias en relación a la pieza real. A pesar de emplear medidas para disminuir la reflectividad de la señal láser, y elegir una pieza geoméricamente más sencilla, se concluye que el escaneado de piezas con componentes de metacrilato no ofrece resultados válidos con el láser escáner de NextEngine. La siguiente ilustración muestra los diferentes tamaños de los triángulos que componen la malla, e incluso la falta de datos en las partes más oscuras de la imagen.

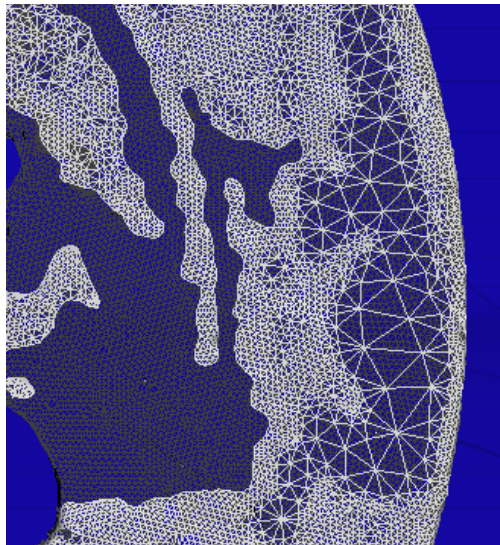


Ilustración 46 - Detalle de la malla de triángulos

La siguiente ilustración permite apreciar la dificultad para delimitar los contornos de la pieza y para definir las circunferencias en el metacrilato.

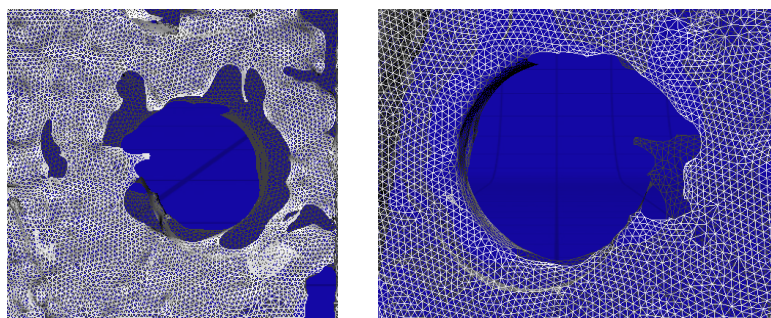


Ilustración 47 – Detalle de la definición de límites

En vista del modelo obtenido como resultado del proceso, se recomienda no utilizar el equipo NextEngine en piezas con estos materiales.

### 3. PIEZA TERRACOTA

#### 3.1.INTRODUCCIÓN

Tras la finalización de los estudios preliminares se procede al escaneado de la pieza objeto de esta PFC. Se trata de una cerámica de terracota seleccionada por el tipo de material con el que está fabricada.

La pieza tiene unas dimensiones de 15 cm de largo por 10 cm de ancho por 14 cm de alto.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se trata de analizar la modelización de materiales cerámicos frente a la modelización de materiales metálicos pulidos de los objetos utilizados con anterioridad.

#### 3.2.ESCANEO DE LA PIEZA

Para la toma de datos de esta pieza, se realizan previamente marcas con los rotuladores proporcionados por el fabricante y de fácil borrado. Dado el carácter oscuro de la pieza y la falta de detalles, se toma en consideración esta medida para asegurar la alineación tanto de las tomas individuales de cada familia, como del modelo global.



Ilustración 48 - Marcas de la pieza para la alineación



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

A continuación se sitúa el auto-posicionador a una distancia del escáner de 40 cm aproximadamente, empleando un elemento auxiliar para elevarlo.

Una vez encuadrada la pieza dentro del visor se fijaron los parámetros de configuración de las capturas.

Posicionamiento	Nº Divisiones	Calidad	Contraste	Precisión
360º	8	HD	NEUTRAL	WIDE

Tabla 3 - Parámetros de escaneado de la pieza

Se realizan cinco escaneados de la pieza en diferentes posiciones, manteniendo constantes los parámetros de configuración del escáner:

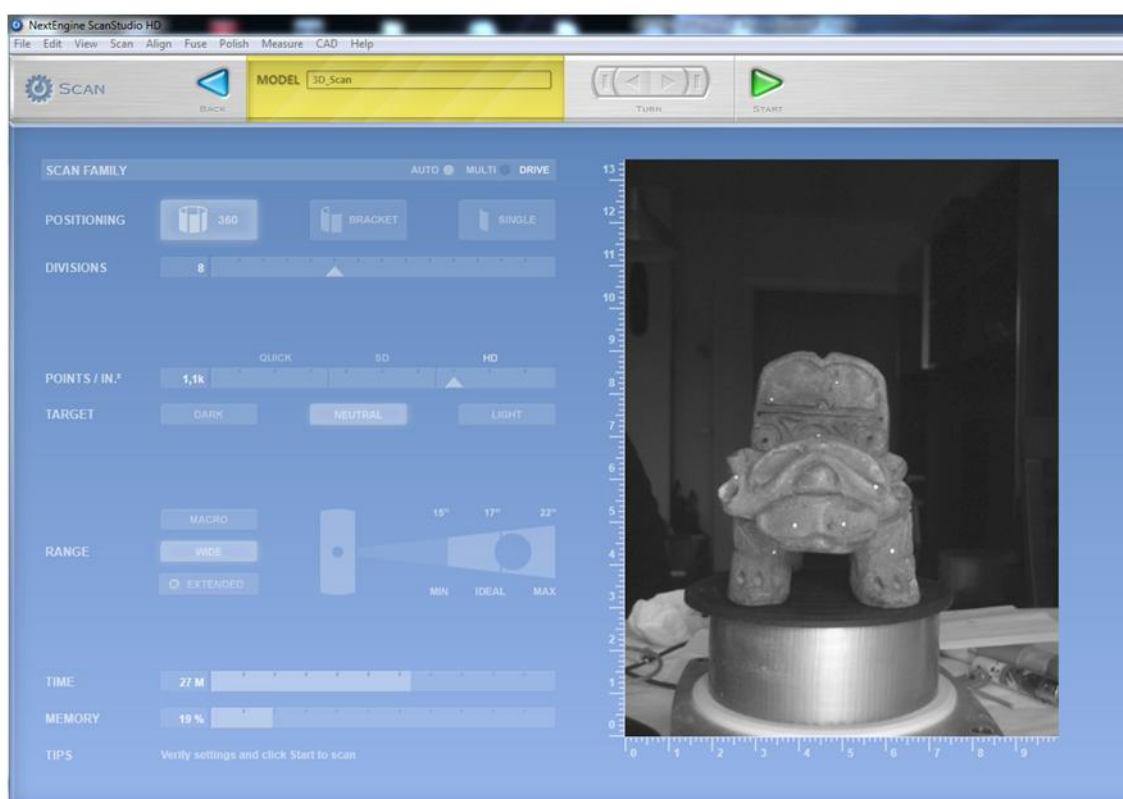


Ilustración 49 - Parámetros del escáner

Una vez finalizado el proceso de escaneado, se obtuvieron cinco familias.

Las familias A y B corresponden al escaneado de la pieza en su posición natural. Se realizan dos tomas para suplir la falta de detalle detectada en la parte de las orejas.



Ilustración 50 - Familias A y B

Las familias C y D corresponden al escaneado de la pieza en posición tumbada (una de cada lado). Se realizan dos tomas para evitar tener zonas ocultas debido el sentido de giro de la pieza durante el escaneado.



Ilustración 51 - Familias C y D

La familia E corresponde al escaneado de la pieza en posición vertical.

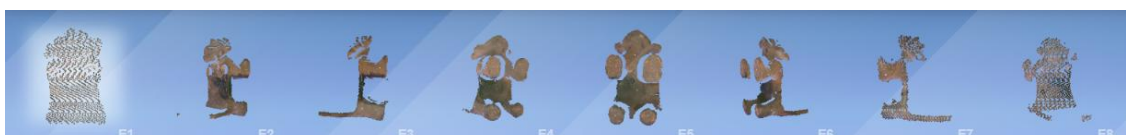


Ilustración 52 - Familia E

A continuación se realiza el tratamiento de los modelos obtenidos.

### 3.3. TRATAMIENTO DE DATOS

Como se ha indicado en apartados anteriores, el proceso comienza con la alineación de las tomas de cada familia. Una vez que tenemos alineadas cada una de las familias, se procede al corte de los elementos auxiliares que no forman parte del modelo así como del posible ruido existente. Continuamos con la alineación de todas las familias y



realizamos el fusinado del modelo para obtener una única malla. Finalmente, aplicamos herramientas de refinado para mejorar el producto final si fuera necesario.

### 3.3.1. Alineación de las tomas de una familia

Para realizar la alineación una familia primeramente se desacoplan (*Detach*) las tomas que la componen, y a continuación, se procede a realizar la alineación mediante la localización de puntos comunes. De la alineación de cada una de las tomas se obtiene el valor de la precisión resultante.

Las ilustraciones que se muestran a continuación detallan el proceso:

#### Familia A

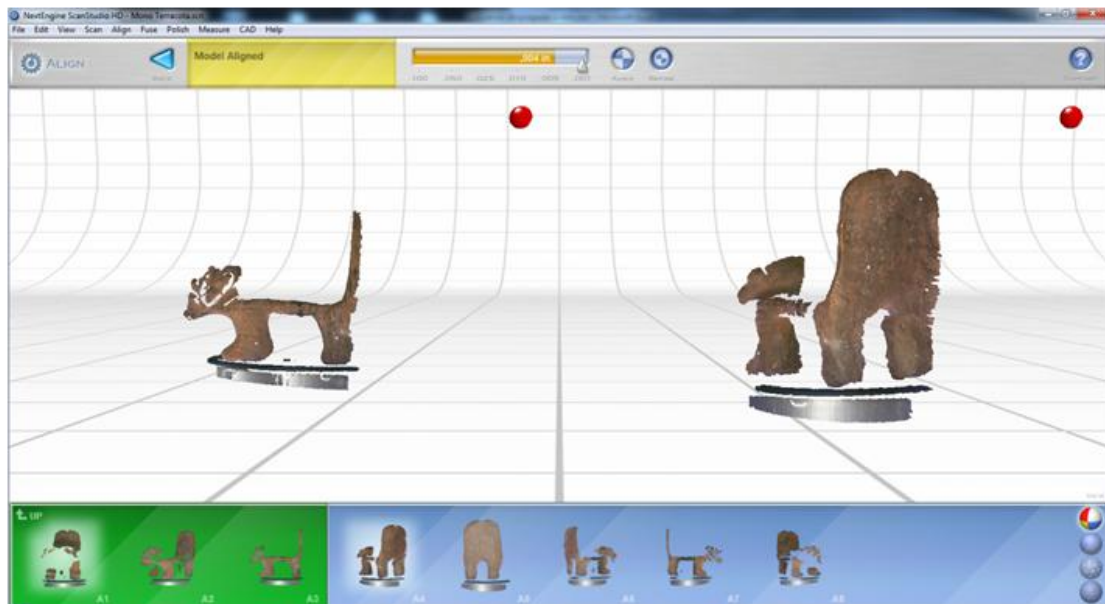


Ilustración 53 - Alineación de tomas familia A

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

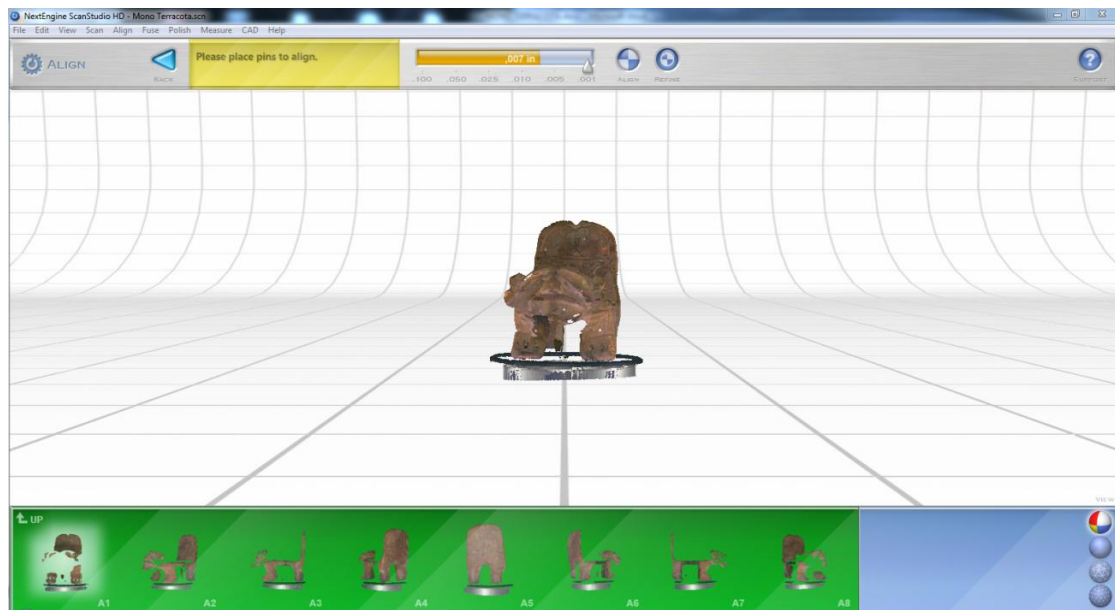


Ilustración 54 – Familia A alineada



Ilustración 55 - Precisión alineación Familia A

### Familia B

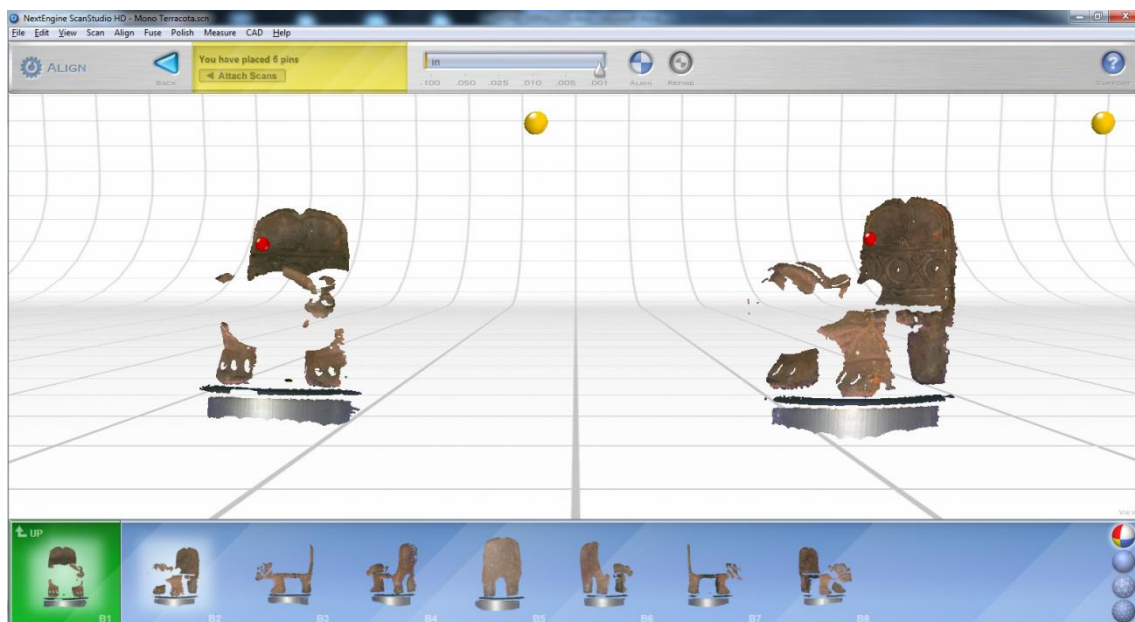


Ilustración 56 - Alineación de tomas familia B

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

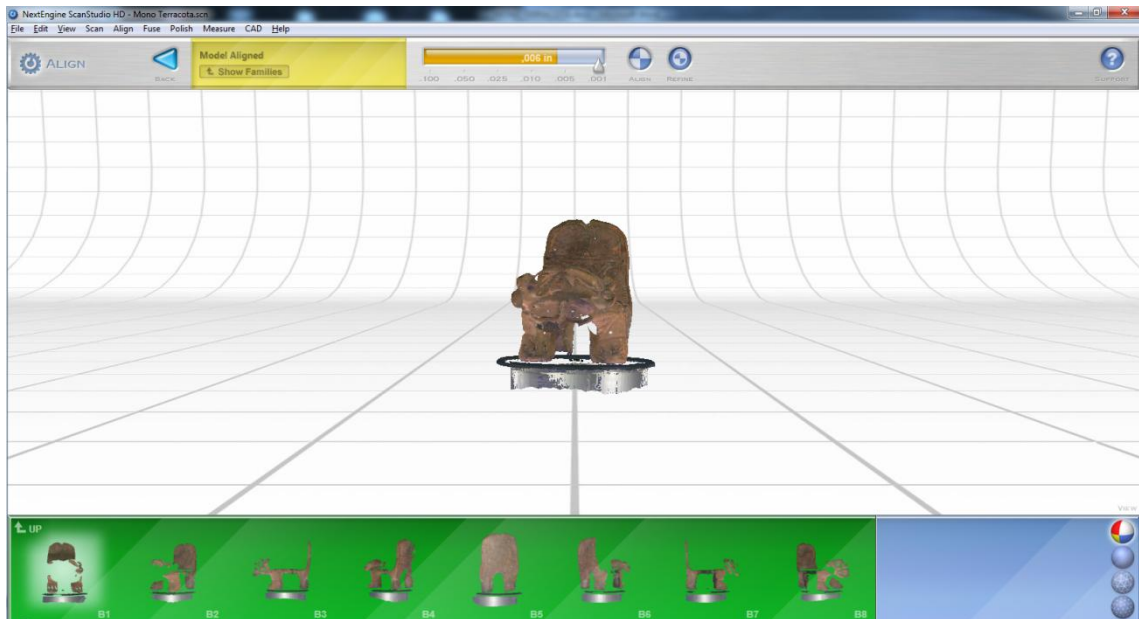


Ilustración 57 – Familia B alineada

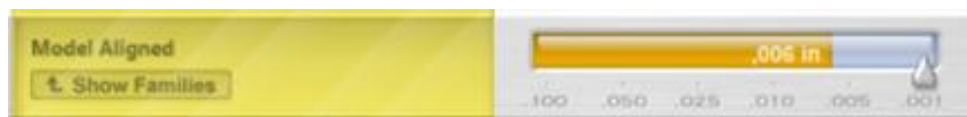


Ilustración 58 - Precisión alineación Familia B

### Familia C

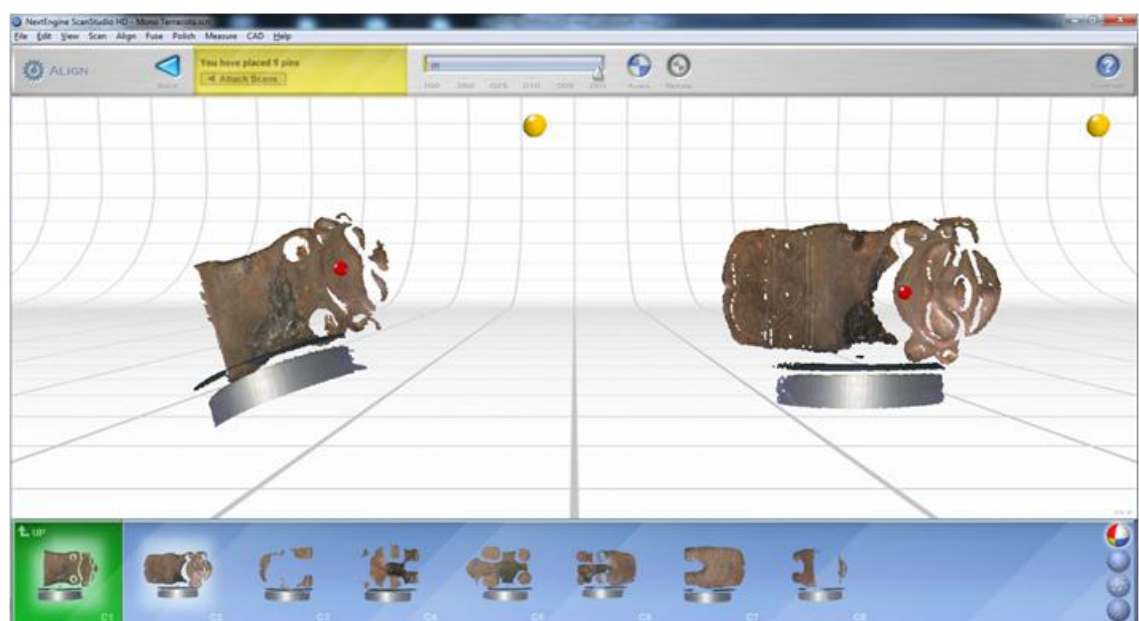


Ilustración 59 - Alineación de tomas familia C

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

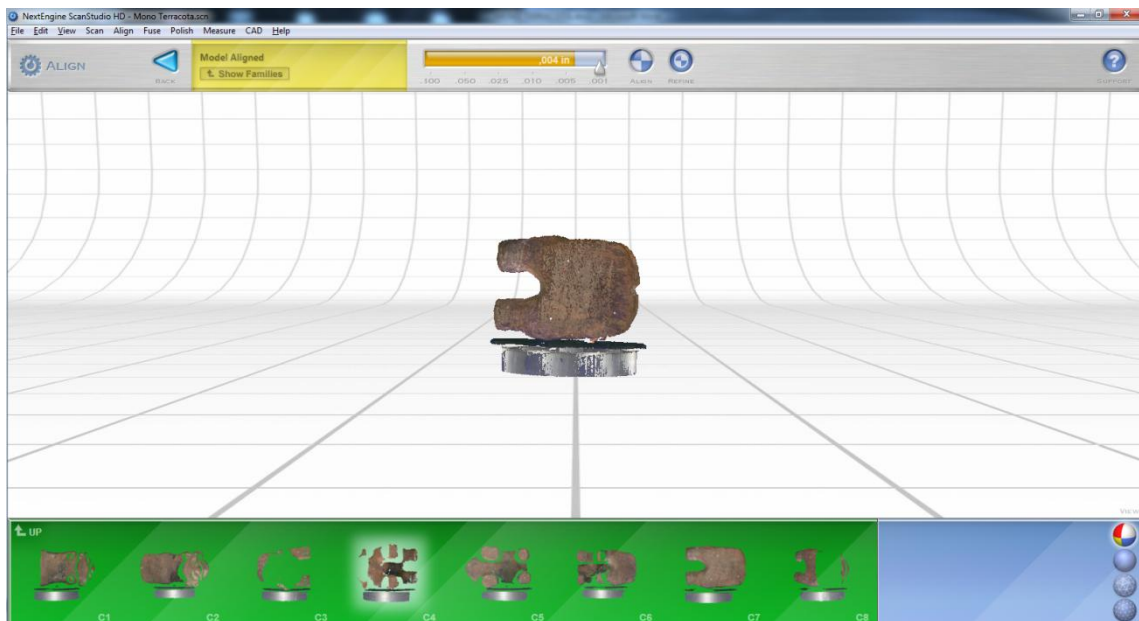


Ilustración 60 – Familia C alineada



Ilustración 61 - Precisión alineación Familia C

### Familia D

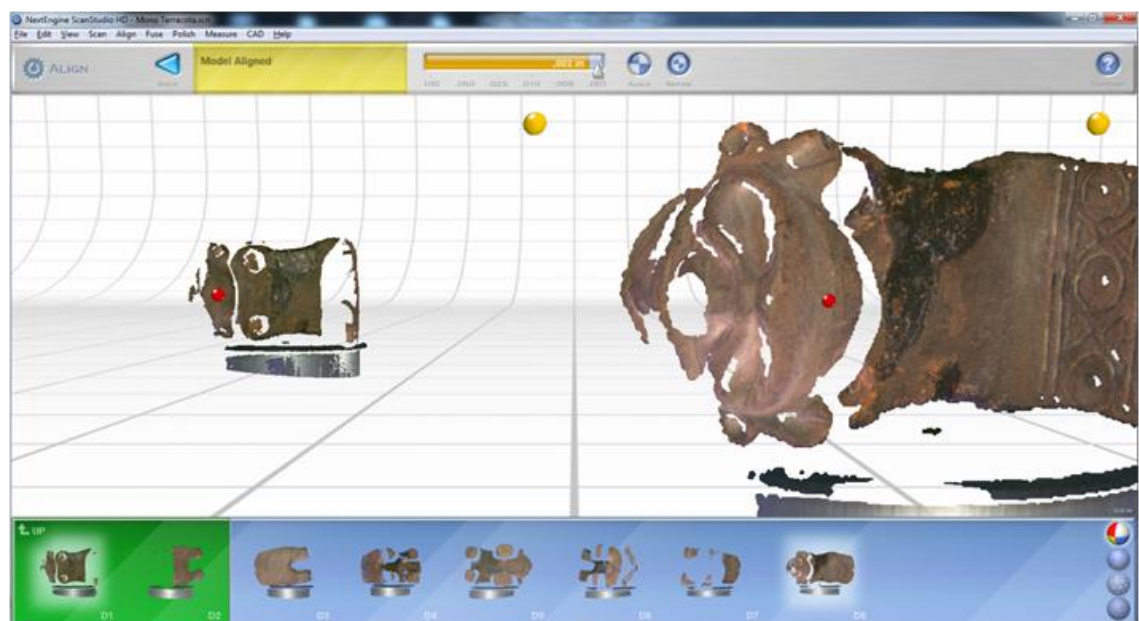


Ilustración 62 - Alineación de tomas familia D



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

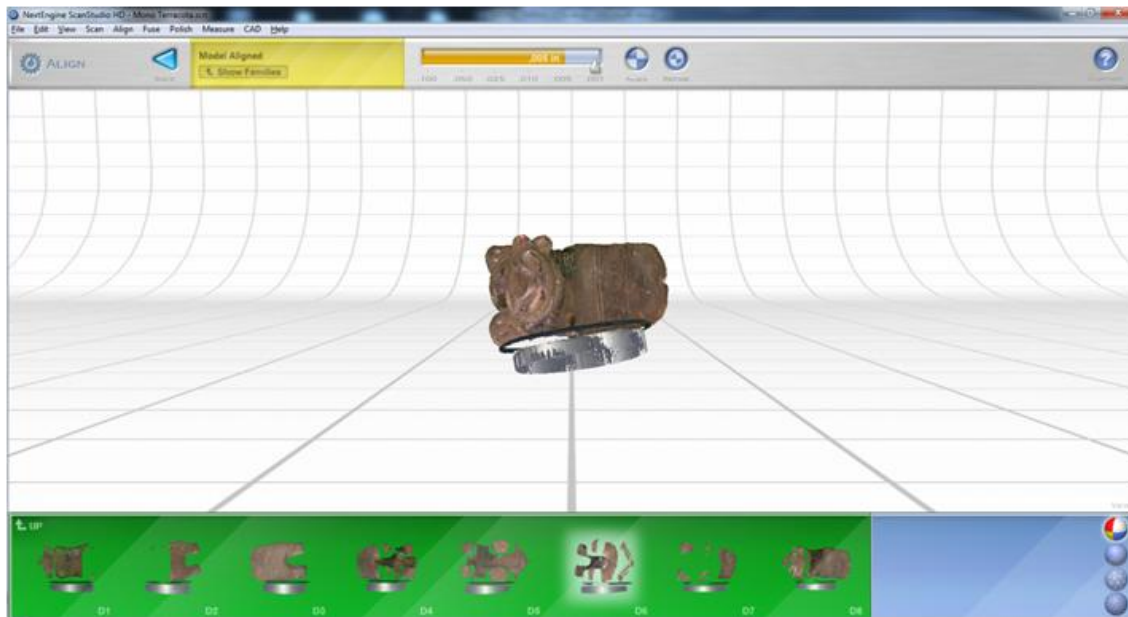


Ilustración 63 – Familia D alineada

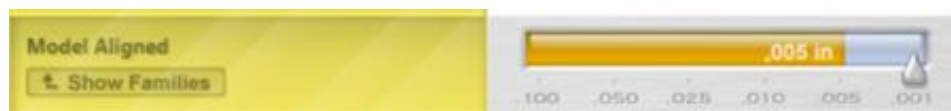


Ilustración 64 - Precisión alineación Familia D

### Familia E

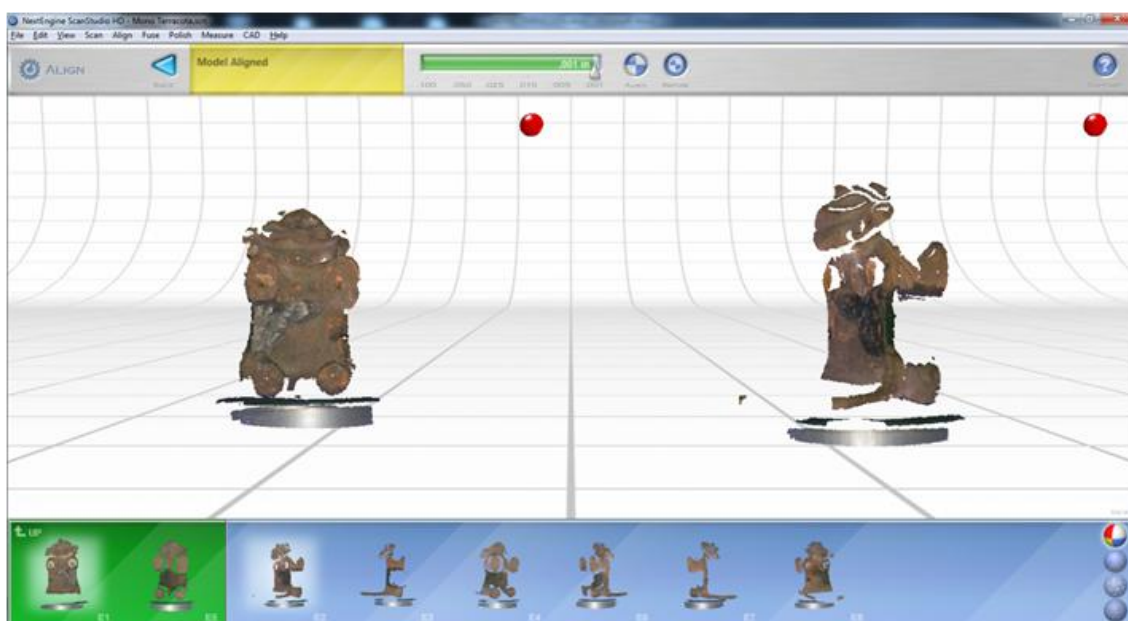


Ilustración 65 - Alineación de tomas familia E



Ilustración 66 - Familia E alineada



Ilustración 67 - Precisión alineación Familia E

### 3.3.2. Cortado de las familias

Tras la alineación de las tomas de cada familia, eliminamos el ruido y los elementos auxiliares escaneados mediante la herramienta *Trim*.

La siguiente ilustración muestra la operación de cortado en la familia E. Las partes en color rojo se eliminarán tras pulsar el botón *Trim*:



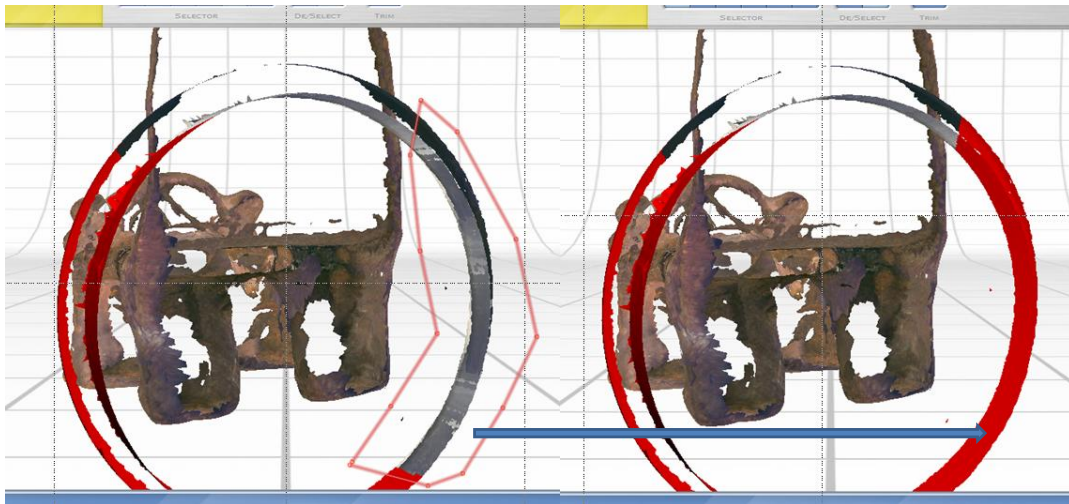


Ilustración 68 - Proceso de cortado, Familia E

### 3.3.3. Alineación del modelo final

Una vez que se tenemos limpios de ruido los modelos, se procede a la alineación global de todas las familias. Tras esta operación, obtendremos una imagen tridimensional de la pieza escaneada.

Para ello se alinearán las familias de una en una, obteniendo una precisión en cada alineación.

Para la alineación de las **Familias A y B**: se marcan nueve puntos en común:

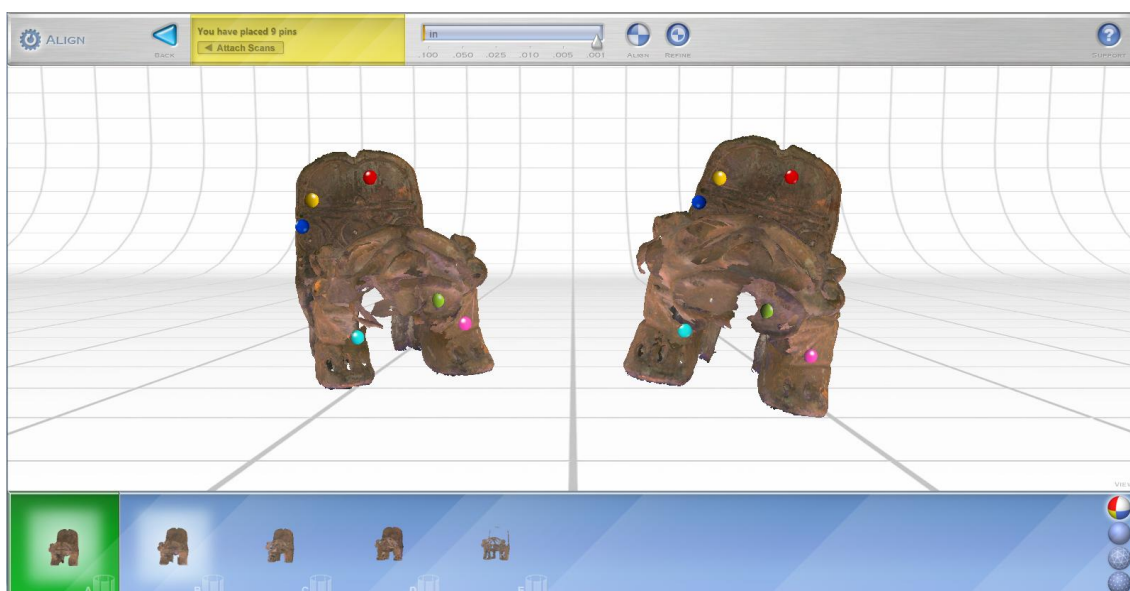


Ilustración 69 - Proceso de alineación Familias A y B

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Se obtiene una precisión de **0,003 in (0,076 mm)** en la alineación del modelo. Las familias A y B aparecen en la zona verde.

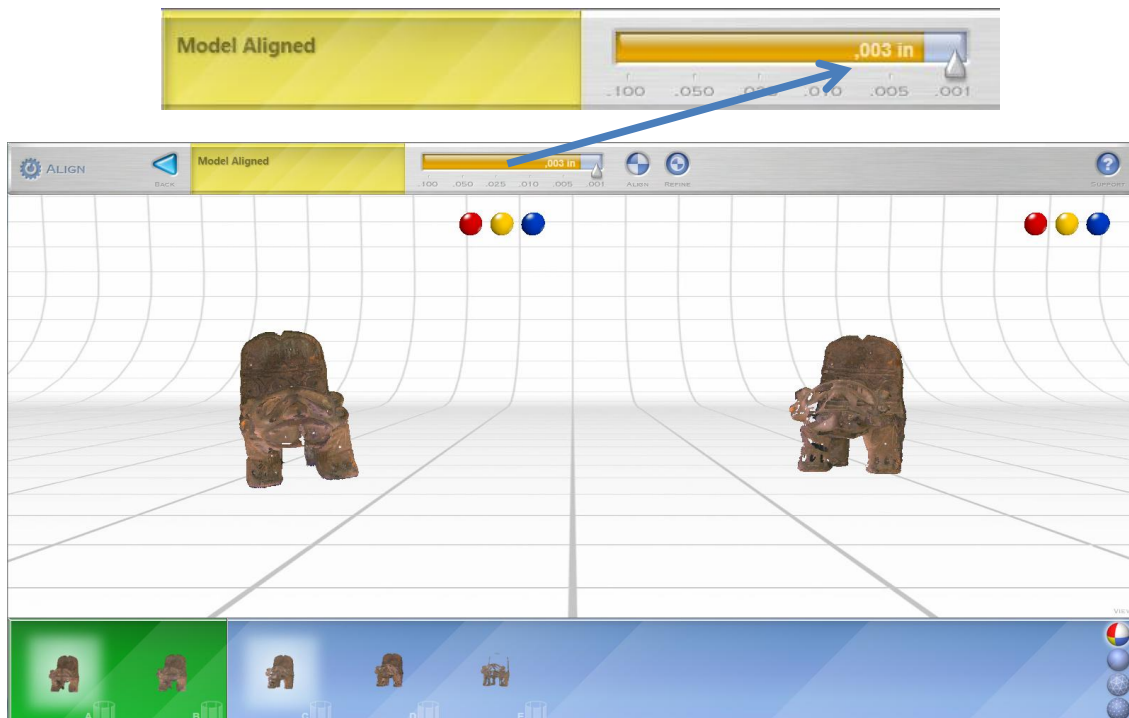


Ilustración 70 - Precisión alineación Familias A y B

Para la alineación de la **Familia D** se emplean 6 puntos, obteniéndose una precisión de **0,005 in (0,127 mm)**.

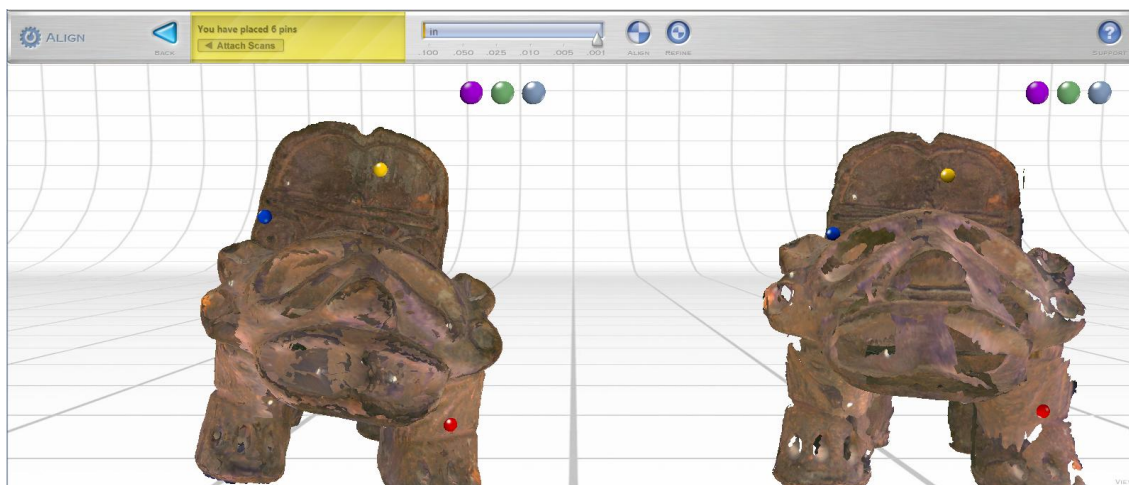


Ilustración 71 - Proceso de alineación Familia D

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

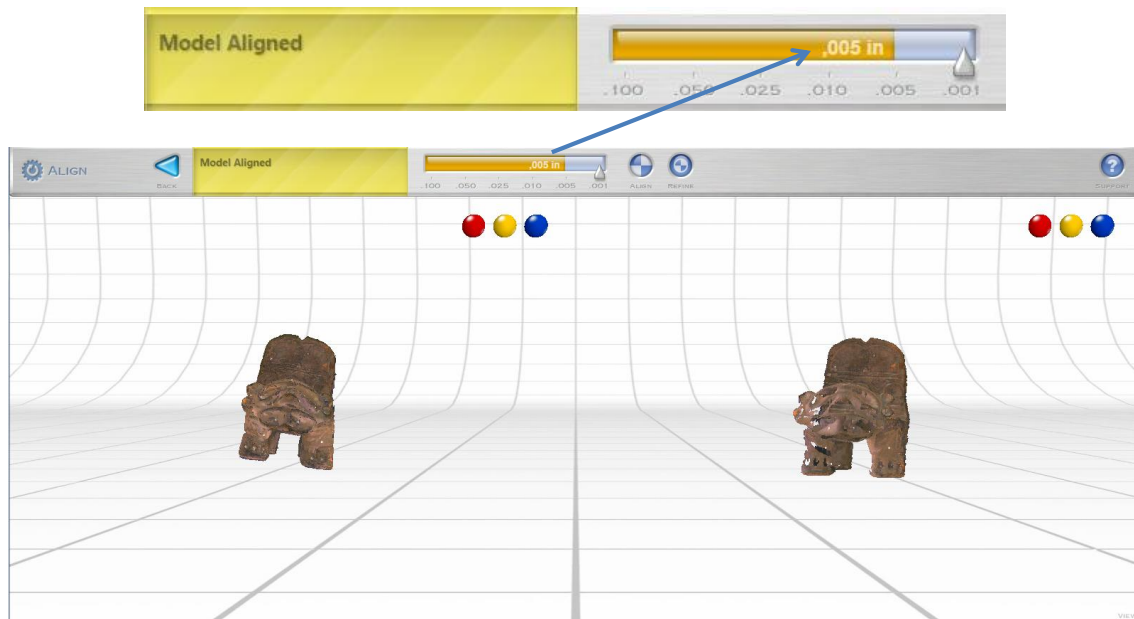


Ilustración 72 - Precisión alineación Familia D

Para la alineación de la **Familia E** se emplearon cuatro puntos, obteniéndose una precisión de **0,005 in (0,127 mm)**

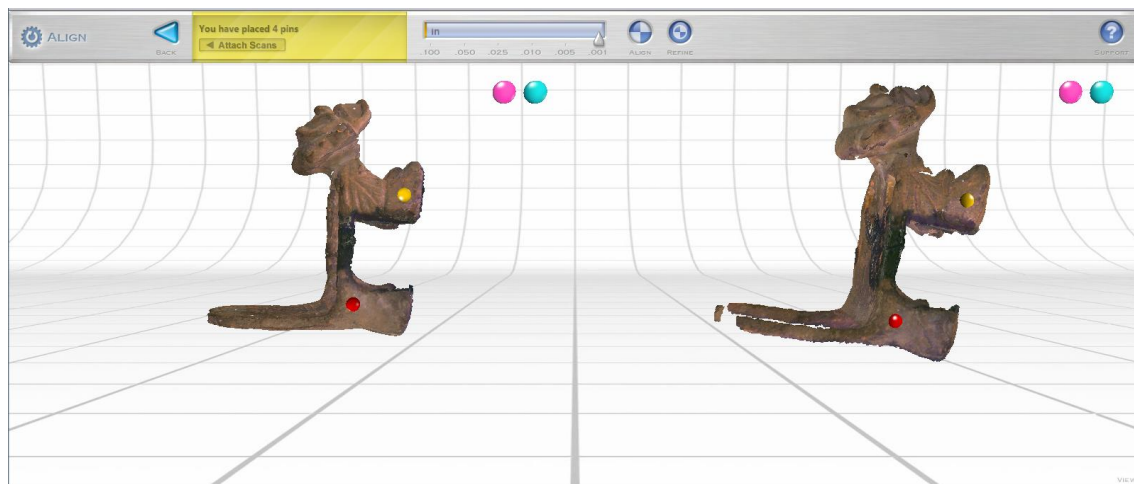


Ilustración 73 - Proceso alineación Familia E

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

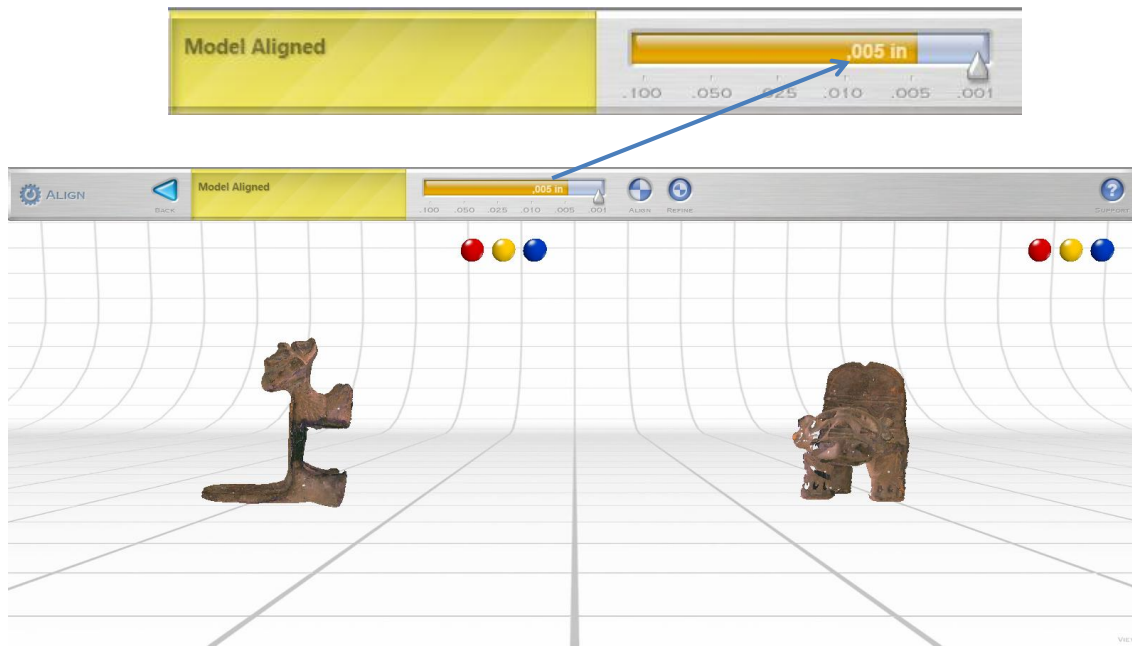


Ilustración 74 - Precisión alineación Familia E

Para la alineación de la **Familia C** se emplean nueve puntos, obteniéndose una precisión final del modelo de **0,005 in (0,127 mm)**:

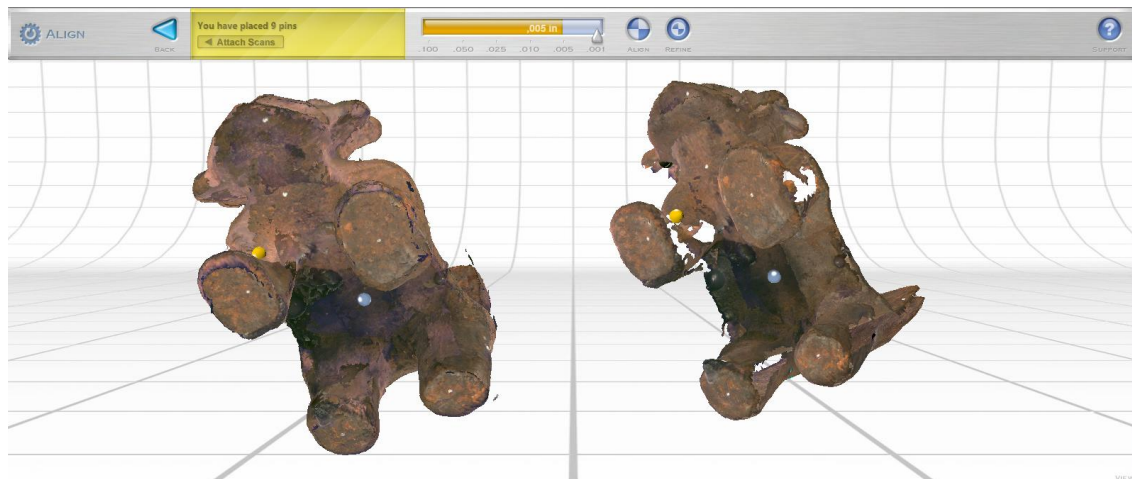


Ilustración 75 - Proceso de alineación Familia C



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

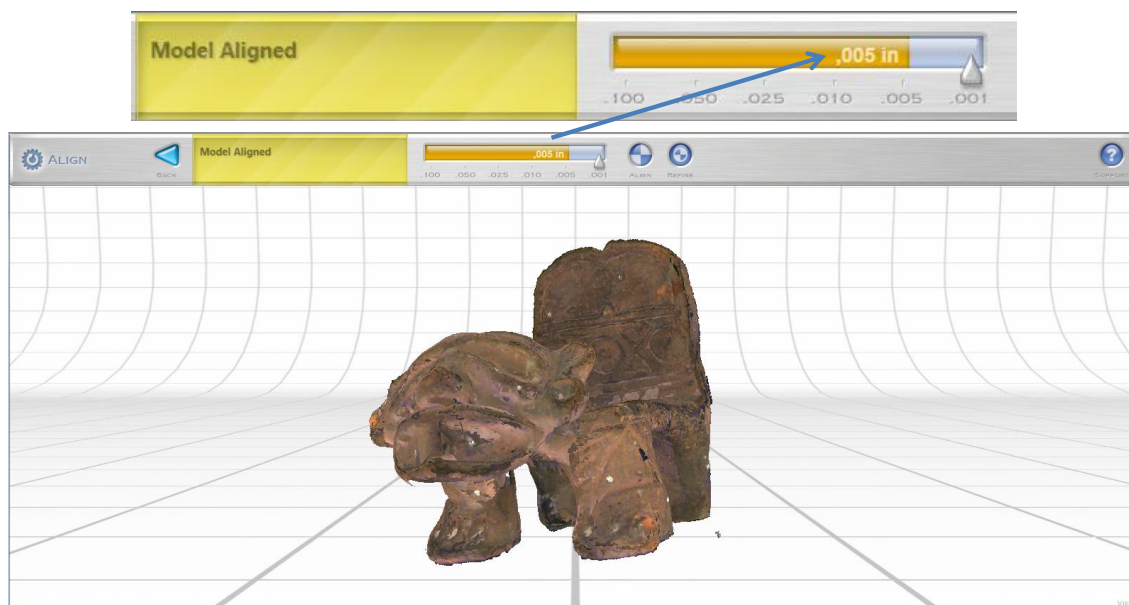


Ilustración 76 - Precisión final del modelo

El modelo obtenido es resultado de la alineación entre las cinco familias (A, B, C, D y E). Cada una es un modelo tridimensional diferente que se ha unido en el proceso de alineación pero que no se han unificado, es decir, ahora existe en la mayor parte de la pieza una superposición de las diferentes mallas de las familias, superposición que es debida a las partes que tienen en común las distintas familias. A continuación como ejemplo, se muestra un fragmento.

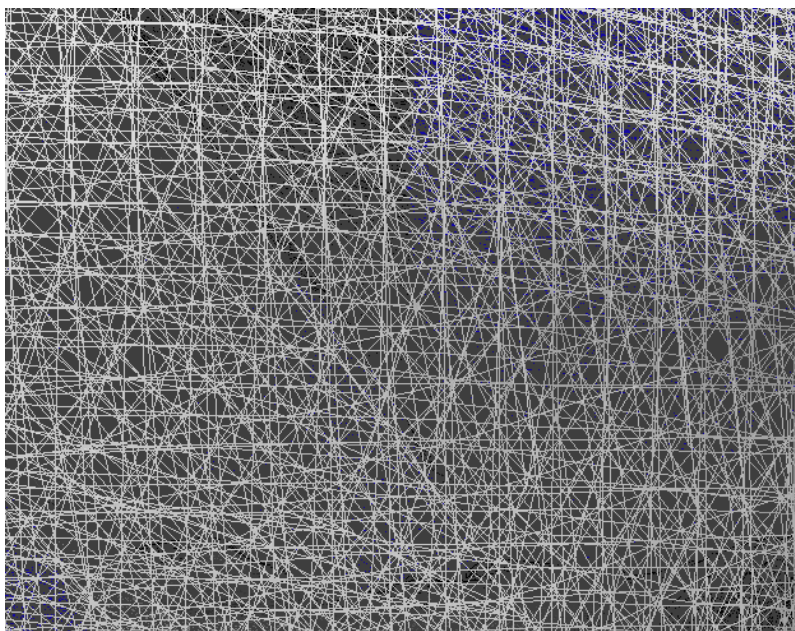


Ilustración 77 - Superposición de mallas resultado de la alineación

### 3.3.4. Fusionado del modelo

Una vez que disponemos de un modelo formado por múltiples tomas y con diferentes mallas superpuestas, se procede a la simplificación y unificación de los datos de la alineación con el fin de obtener una única malla de la pieza escaneada (sin superposiciones), así como al cerramiento o relleno de los posibles huecos que tenga el modelo. Estas operaciones se realizan con la herramienta Fuse.

Primeramente, se obtiene la información del número de puntos y triángulos que conforman el modelo. Para ello, se accede a la opción “*Model Information*” del menú principal File.

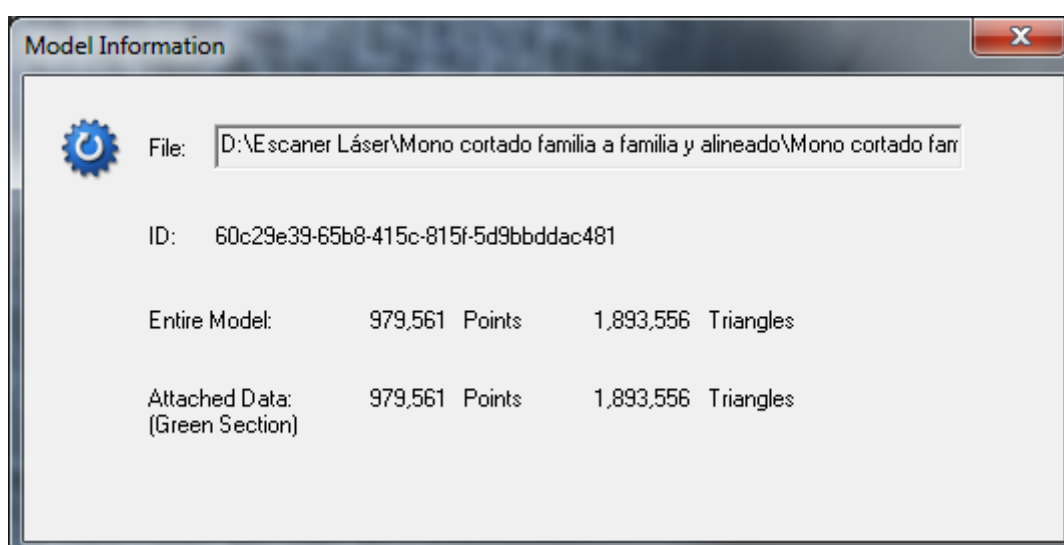


Ilustración 78 - Información del modelo obtenido

Después de varias pruebas cambiando los valores de mezclador de texturas “Texture Blending”, que cuantifica cuantos pixeles van a mezclarse y el índice de resolución “Resolution Ratio”; y estudiando los valores de la configuración del fusinado probando con “Fill holes”, “No hole filling” y “Create water-tight model”, se opta por realizar la fusión con los parámetros que se indican a continuación.



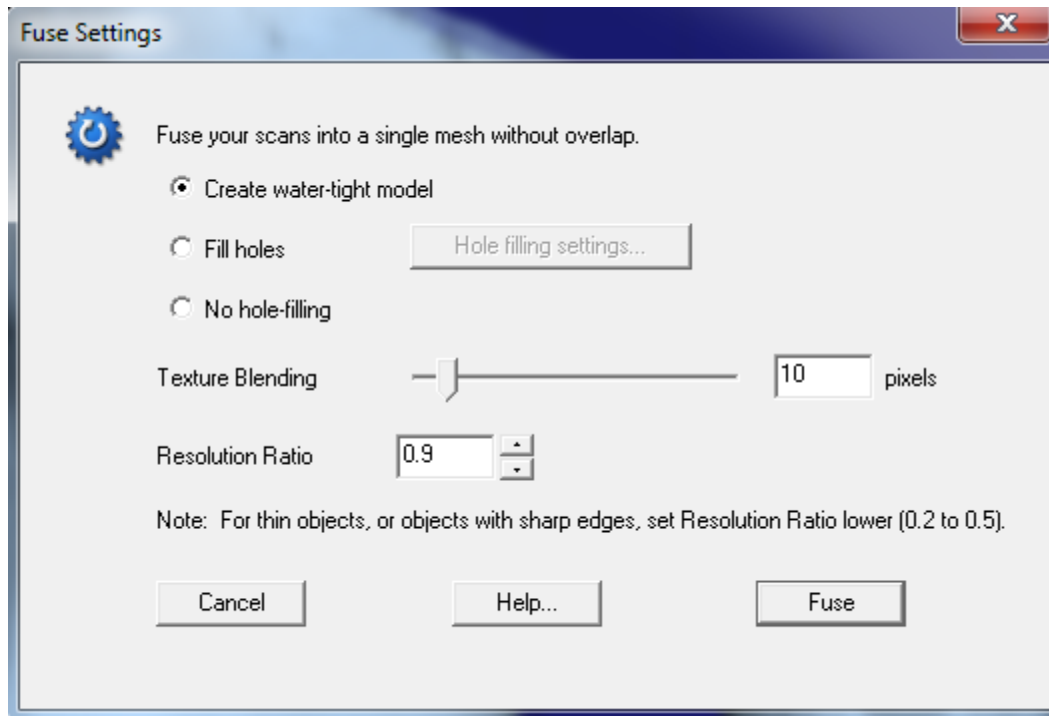


Ilustración 79 - Parámetros de fusonado

Como resultado del proceso de fusonado se genera una nueva familia – Familia F, en la que se observa un modelo completo de la pieza tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

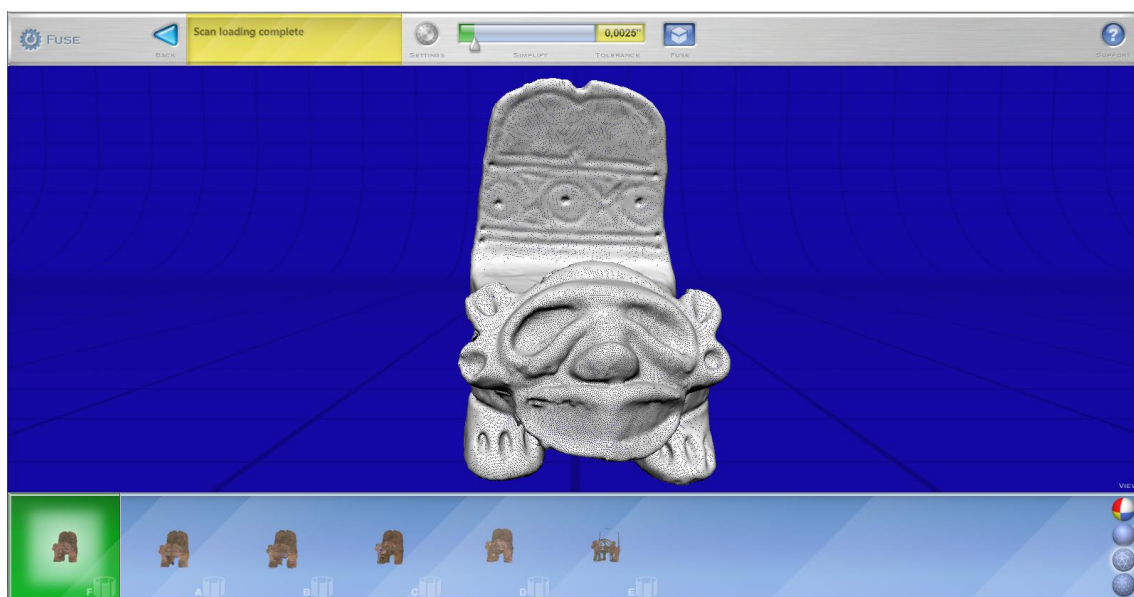


Ilustración 80 - Modelo fusionado de la pieza

La información del modelo obtenido tras el proceso de fusión es el siguiente:

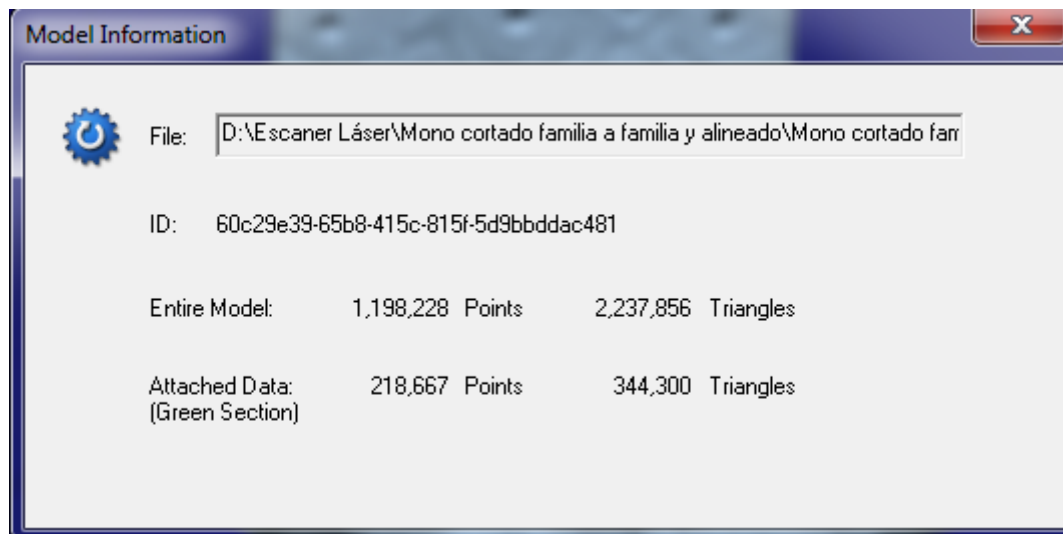


Ilustración 81 - Información del modelo tras el fusión

### 3.3.5. Refinado del modelo

No se aplicaron herramientas de refinado para mantener el esgrafiado original de la pieza.

### 3.3.6. Resultados finales

A continuación se presenta el resultado final del modelado de la pieza en los cuatro modos de visualización que permite el software ScanStudio HD:



Ilustración 82 - Fotografía de la pieza

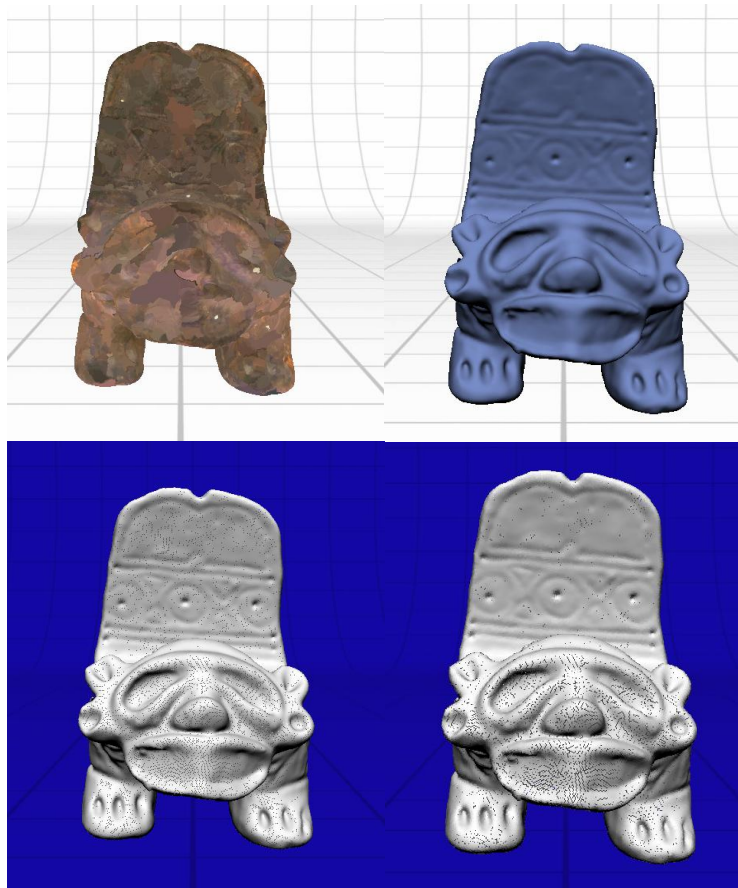


Ilustración 83 - Modos de visualización del modelo resultante. De izquierda a derecha: color, sólido, malla triangular, puntos

## 4. MÉTRICA

### 4.1.OBTENCIÓN DE LA MÉTRICA SOBRE LOS MODELOS DIGITALES. PROGRAMA MINIMAGICS

A partir de los modelos tridimensionales de escaneado de piezas se pueden obtener valores métricos con gran exactitud. Una de las aportaciones más relevantes de esta metodología es la toma de datos desde perspectivas o puntos de difícil acceso físico. Otra ventaja de ésta metodología digital, es la posibilidad de trabajar con modelos virtuales equiparables a los reales, pero sin el riesgo de manipular físicamente las piezas.

En este proyecto, para obtener datos métricos se exportó el modelo tridimensional en formato STL (\*.stl) desde el programa NextEngine ScanStudio HD y se importó al programa MiniMagics, software dotado con diversas herramientas de medida.

#### 4.1.1. Presentación del programa Minimagic

MiniMagics es un software de visor de archivos STL que permite importar, guardar y comprimir archivos STL (\*.stl), .magics y MHX. Cuando se carga un archivo en el programa, éste permite realizar anotaciones y mediciones sobre el modelo importado, así como ver, detectar y visualizar bordes incorrectos y triángulos girados.

Otra de las funciones que permite Minimagic es la creación de secciones de los modelos. Estas secciones se pueden mover y presentar, a gusto del usuario, en el interfaz del programa deslizando una pestaña que recorre el eje en el que se presentan las secciones. Las secciones se pueden estudiar en cualquiera de los tres ejes (x, y, z).

#### 4.1.2. Cálculo de la métrica de la pieza

##### 4.1.2.1. Verificación de malla de triángulos

Con el programa Minimagic se procede a acotar la pieza, hallar sus secciones y verificar que la triangulación de la malla de puntos es correcta. Para ello el programa cuenta con la herramienta *“Analyze”*, que efectúa una revisión completa de la malla de triángulos.

A continuación se muestra una ilustración de esta operación.

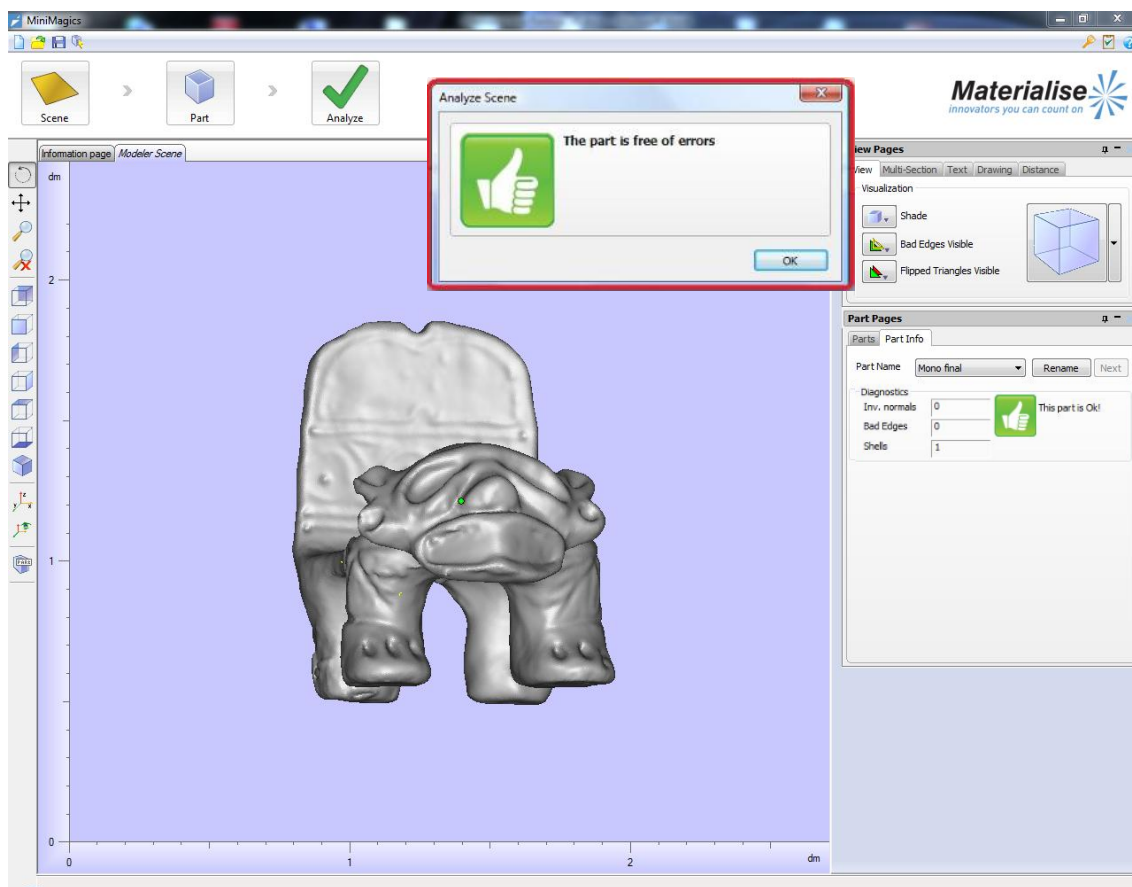


Ilustración 84 - Comprobación de la malla de triángulos

Como se aprecia en la ilustración anterior la triangulación del modelo no presenta errores ("The part is free of errors"), y la malla presenta una estructura homogénea.

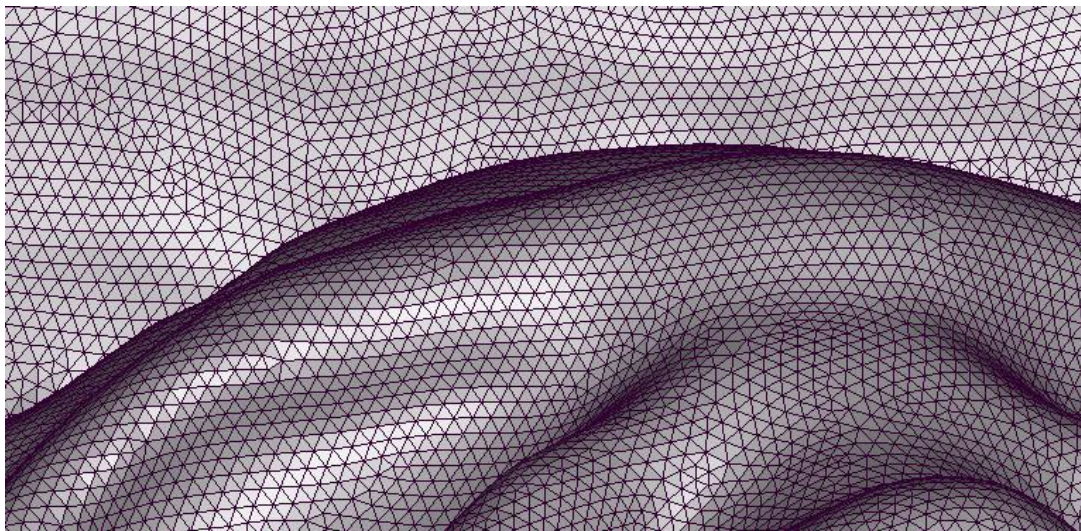


Ilustración 85 - Detalle de la malla de triángulos



#### 4.1.2.2. Acotación de la pieza

Con el programa MiniMagics se realizan acotaciones de la pieza, siendo la unidad de medida el milímetro.

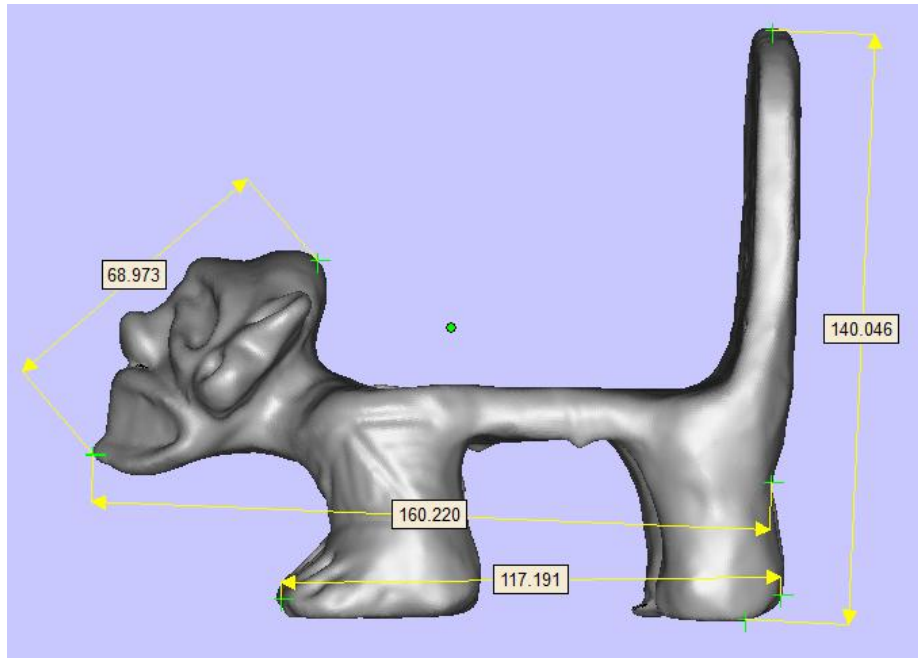


Ilustración 86 - Acotaciones de la pieza I

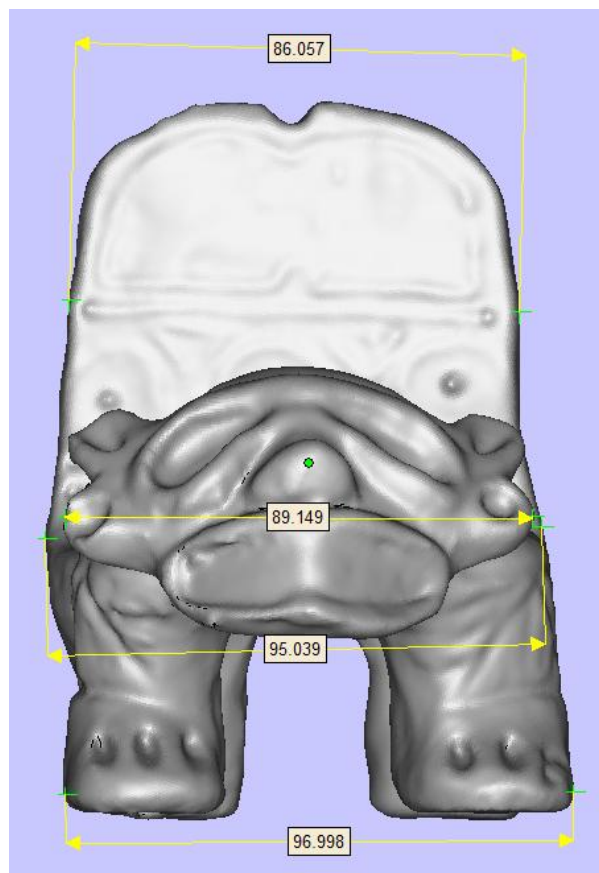


Ilustración 87 - Acotaciones de la pieza II



#### 4.1.2.3. *Sección de la pieza*

La siguiente ilustración muestra la sección más representativa de la pieza, correspondiente al corte longitudinal.

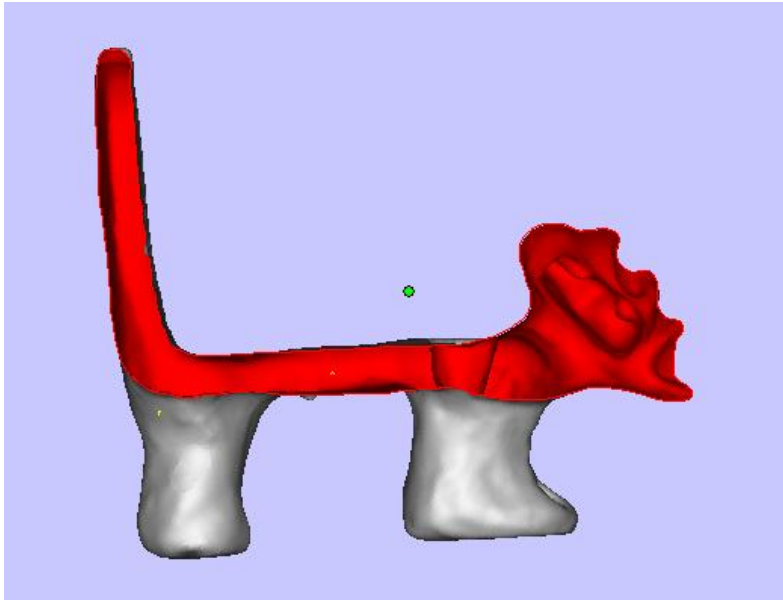


Ilustración 88 – Sección longitudinal

El corte del plano longitudinal está representado por el color rojo, en él puede apreciarse la hendidura correspondiente a la pata izquierda de la figura.

La siguiente ilustración muestra diferentes secciones transversales, en las que el plano de corte transversal está representado por el color rojo.

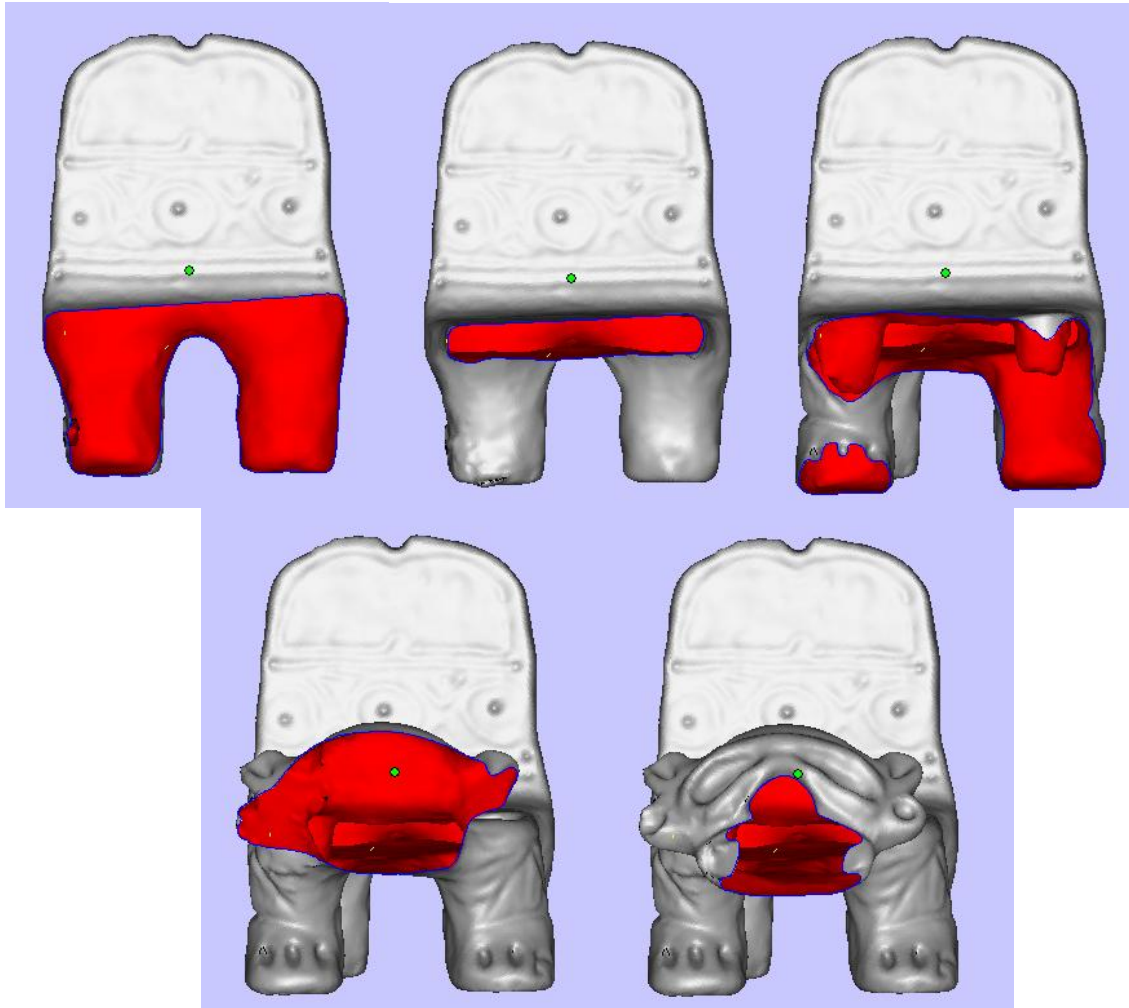


Ilustración 89 – Diferentes secciones transversales

#### 4.1.3. Comparación de mediciones con flexómetro y programa Minimagics

La pieza se dimensionó con un flexómetro, cuya precisión se establece en la tercera parte de la mínima división. Dado que la mínima división es el milímetro, consideramos que la precisión de la medición con el flexómetro es de 0,333mm. A continuación compararemos los resultados con los dos métodos de medida.

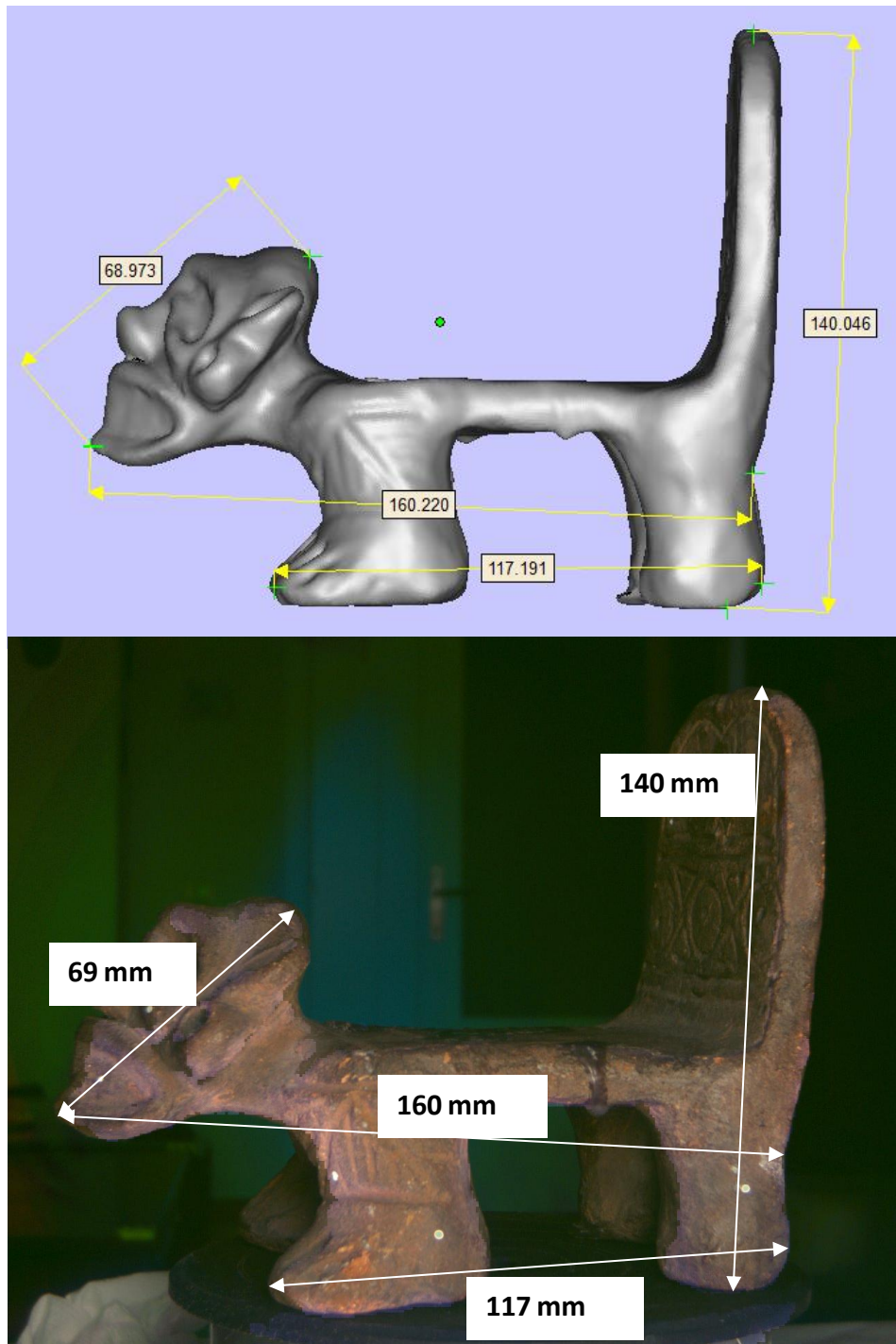


Ilustración 90 - Acotación con Minimagics (arriba) y Flexómetro (abajo) I

# OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Minimagics (mm)	Flexómetro (mm)	Diferencia (mm)
68,973	69	-0,027
140,046	140	0,046
160,220	160	0,220
117,191	117	0,191

Tabla 4 - Comparación mediciones I

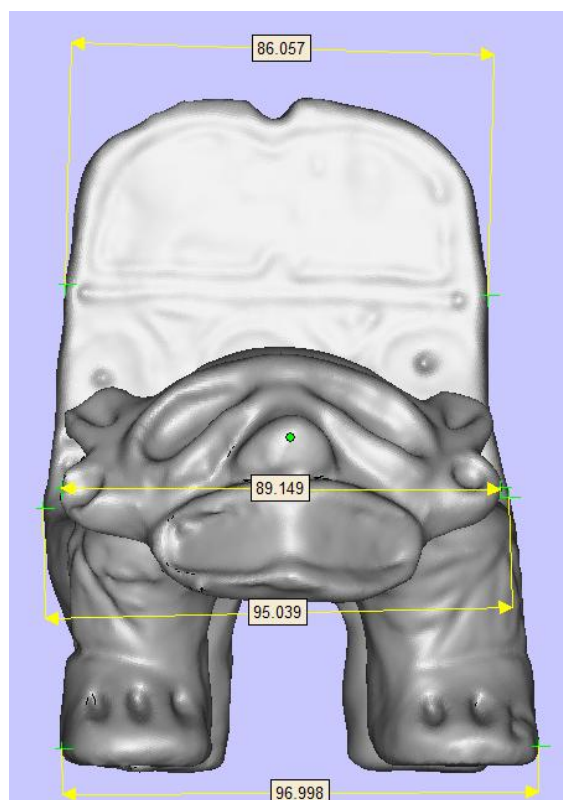


Ilustración 91 - Acotación con Minimagics (arriba) y Flexómetro (abajo) II

Minimagics (mm)	Flexómetro (mm)	Diferencia (mm)
86.057	86	0,057
95,039	95	0,039
96.998	97	-0,002
89.149	89	0,149

Tabla 5 - Comparación mediciones II

Como se observa en las Tablas 4 y 5, la diferencia máxima en las mediciones está en torno a las dos décimas de milímetro. Dado que la precisión del flexómetro es de un tercio de milímetro y que las diferencias entre las medidas son de dos décimas de milímetro como máximo, se verifica la bondad de los resultados.

No se aprecian diferencias significativas entre la pieza y el modelo; las diferencias obtenidas en las mediciones del modelo son inferiores a la precisión requerida del presente proyecto fin de carrera (dos milímetros) y, por tanto, puede considerarse válido el modelo digital resultante.

## 5. MODELOS 3D EN FORMATO PDF

### 5.1.INTRODUCCIÓN

Una vez realizado el modelo tridimensional de la pieza, se valora la necesidad de presentar los resultados mediante una herramienta accesible, de fácil manejo, con una alta capacidad de compresión y todo ello sin perder la calidad original. Para ello se van a exportar los modelos 3D a archivos PDF.

El formato PDF es muy accesible pues su uso está muy generalizado y lo podemos encontrar en la mayoría de los ordenadores. Los programas lectores de archivos PDF, como puede ser el Adobe Reader, son muy intuitivos y de fácil explotación. Otra de sus grandes ventajas, es la capacidad de transformar los modelos tridimensionales en archivos ligeros que facilitan su consulta, transferencia y manejabilidad.

Se van a obtener archivos PDF 3D de la pieza objeto de este Proyecto Fin de Carrera.

### 5.2.PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ARCHIVOS PDF 3D

El primer paso fue exportar los modelos finalizados al programa Adobe Acrobat 3D mediante el formato WRL (.wrl). Este modelo es exportado directamente con el programa ScanStudio HD. Al exportar el formato WRL se genera un archivo del tipo “.wrl” y también imágenes del tipo “JGEP”, ambos formatos deben estar incluidos en una misma carpeta. Las imágenes son las que darán el color de la pieza en el pdf 3D.

El programa Adobe Acrobat 3D es necesario para generar los pdf 3D, pero una vez están creados, se pueden abrir con el programa Adobe Reader X con todas las opciones para el manejo del documento que ofrece el programa Adobe Acrobat 3D. Estas opciones son tales como: rotar la pieza, desplazarla, ajustar los modos de visualización, etcétera.

La siguiente ilustración muestra el proceso de creación de un pdf 3D a partir del fichero .wrl.



## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

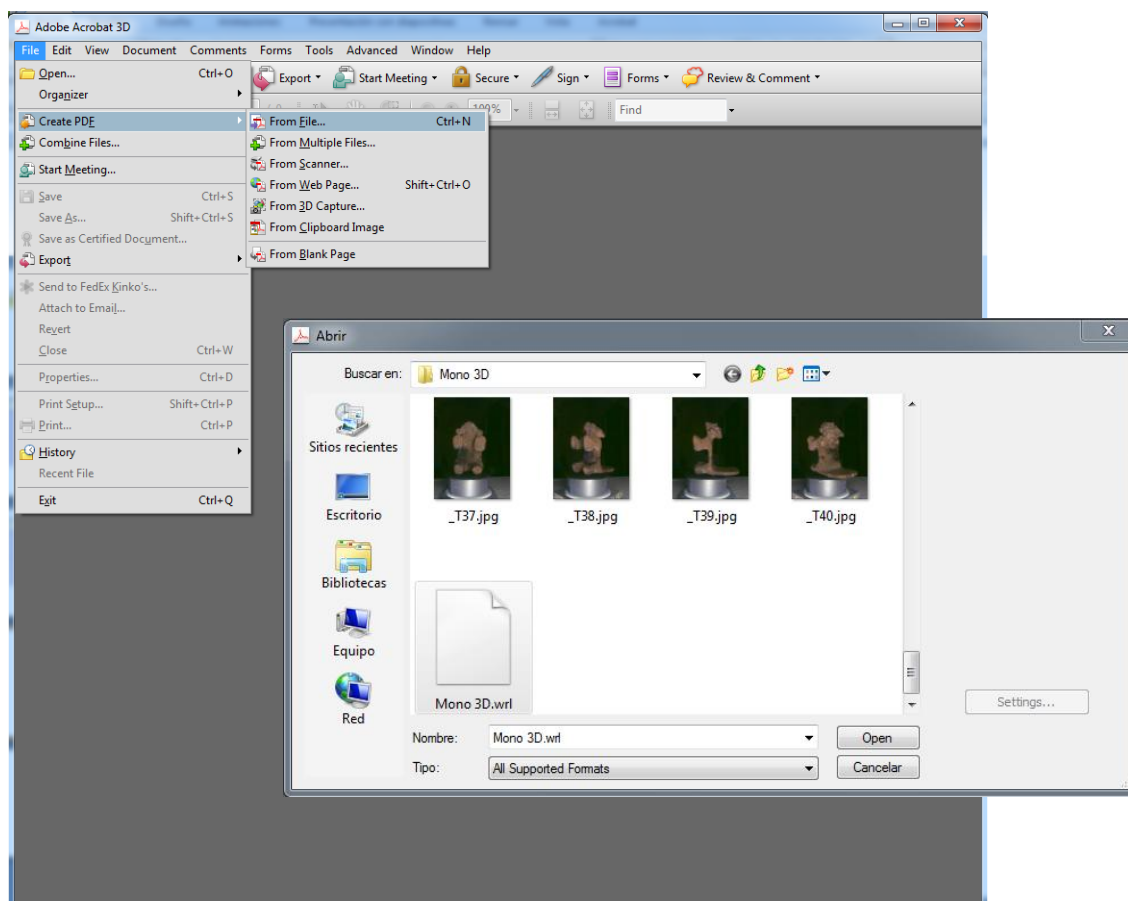


Ilustración 92 - Creación de pdf 3D

Seleccionamos el archivo “.wrl” y el programa genera el pdf 3D. Las siguientes ilustraciones muestran los resultados de los archivos PDF en formato 3D generados desde el programa Adobe Acrobat 3D.



Ilustración 93 - Imagen 3D de la pieza I



Ilustración 94 - Imagen 3D de la pieza II

## 6. CONCLUSIONES

Dado que la obtención de modelos tridimensionales mediante tecnología láser escáner 3D consta de varias etapas, a continuación se detallan las conclusiones obtenidas en cada uno de los diferentes procesos.

- **Toma de datos**

Este proyecto se ha realizado con una de las tecnologías más avanzadas en el campo de la captura, manipulación y modelado tridimensional de datos.

El equipo escáner láser tridimensional NextEngine permite capturar un gran volumen de datos en poco tiempo con un nivel de detalle óptimo, que son visualizados en la pantalla del ordenador en tiempo real. Su tamaño, su coste y su relativo fácil manejo lo hace idóneo como escáner de escritorio para registrar tridimensionalmente piezas de tamaño pequeño y mediano.

No obstante, este escáner, no es igual de eficiente con todo tipo de **materiales**. Hay características en los materiales que pueden hacer que sean más o menos apropiados para su uso. Los materiales metálicos no son aptos para el trabajo con este equipo. El brillo que pueden presentar estos materiales influye negativamente en la toma de datos. Aún cuando las piezas son tratadas con polvos de talco o recubiertas con un material que minore la reflectividad de la señal láser, se observa que la densidad de puntos escaneada es heterogénea y, por tanto, los triángulos de la malla resultante son de tamaño variable. Idéntica situación se presenta ante materiales traslúcidos como el metacrilato. Los materiales que mejor registro de datos han tenido son los materiales cerámicos y óseos, debido a su porosidad.

Una parte del éxito en la toma de datos también depende de los **parámetros** del escaneado. A partir de la realización de este proyecto, podemos concluir que siempre que sea posible la calidad o número de puntos debe ser “HD”, el número de divisiones debe ser como mínimo de seis. Siempre que lo permita las dimensiones de la pieza, ésta se escaneará en modo “macro”. La diferencia entre el modo “macro” y “wide” es significativa, el modo “macro” recoge diez veces más puntos por unidad de superficie que el modo “wide”. La selección del parámetro contraste también ha de ser cuidadosa. Deberá fijarse en Neutral para la mayoría de los casos, ya que al realizar el escaneado Dark, se observa que las partes más oscuras predominan sobre las claras, no recogiendo información relevante sobre las partes más claras. Tan sólo en piezas muy oscuras deberá emplearse esta constante.

La **colocación** de la pieza durante la fase de escaneado también es un factor determinante en la calidad de los datos obtenidos. Siempre que lo permita la morfología de la pieza, ésta deberá colocarse en su eje natural y coincidente con el

centro de la plataforma del escáner y la varilla de sujeción, consiguiendo así que la pieza rote sobre sí misma y no respecto al centro del escáner.

La **geometría** de la pieza es, quizás, el factor más crítico. Cuanto más simple sea el elemento a escanear, mejores resultados se obtendrán. La existencia de elementos superpuestos aumentará el número de escaneados, sin garantizar que no queden partes ocultas en la pieza a pesar del movimiento de rotación de la plataforma giratoria. Así mismo, si la pieza presenta elementos móviles éstos deberán fijarse para mantener su posición a lo largo de todo el proceso.

- **Tratamiento de datos**

El procesamiento y el posterior tratamiento de los datos es la parte más compleja del trabajo ya que el gran volumen de información necesario para obtener modelos de calidad dificulta su manejo informático. La actual versión del software del escáner no está preparada para trabajar con dos procesadores, por lo que se infrutiliza la capacidad de procesamiento de datos de los ordenadores actuales.

La parte más costosa de esta fase del proyecto es el **proceso de alineación**, tanto entre las tomas de una familia como entre las familias para la alineación global. La calidad del resultado final va a depender en mayor medida de este trabajo. La alineación ha de hacerse manual, ya que, los resultados son notablemente más satisfactorios que en el modo automático. La alineación manual puede llevarse a cabo con un mínimo de tres puntos homólogos, pero para un mejor resultado hay que identificar más, seis o siete.

Es recomendable durante todo el proceso ir viendo cómo van evolucionando las diferentes mallas triangulares que se obtienen. Aún más recomendable es hacerlo después de llevar a cabo la fusión, cuando se unifican las mallas dando lugar a una única malla por modelo.

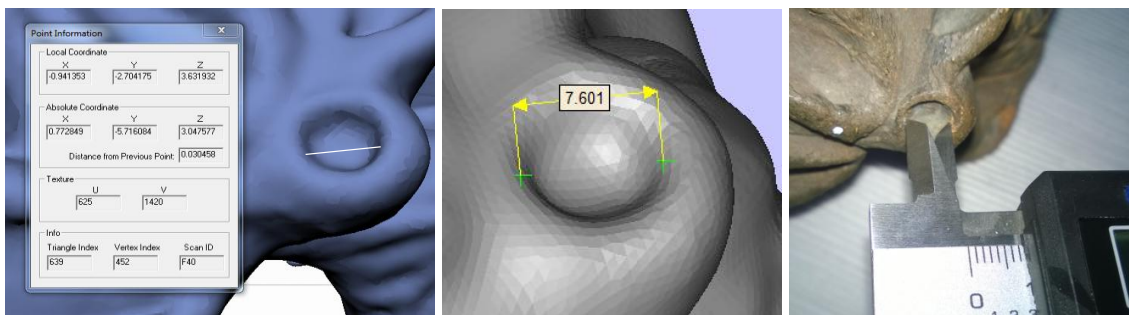
La aplicación de herramientas de suavizado ("Buff") se valorará en cada caso, dependiendo de la naturaleza de la pieza.

- **Métrica**

Del análisis dimensional de los resultados se puede concluir que las medidas obtenidas mediante el escaneado con el equipo escáner láser NextEngine son aceptables, pudiéndose dar como válidas, ya que el propósito del presente PFC era obtener un modelo con una precisión interna de  $\pm 2\text{mm}$ .

A lo largo de este trabajo se ha realizado un control métrico que permite verificar que el modelo tridimensional obtenido es aceptado geoméricamente en la precisión indicada, comparando las medidas obtenidas en el modelo tridimensional de las piezas, y las medidas obtenidas por acotación física de las piezas. Como podemos observar la diferencia de medidas oscila entre los 0,002 y los 0,191 mm, siendo válidas todas las observaciones.

Adicionalmente, se realizó un proceso de verificación en relación a la profundidad de las grietas de la pieza, comprobándose igualmente la bondad de los resultados. Para ello se compararon las acotaciones realizadas en la pieza mediante un calibre, en Minimags y en el software propio del escáner. A continuación se muestra una Ilustración de la comparativa realizada:



**Ilustración 95 – Medicas realizadas con ScanStudioHD (7,614 mm), Minimags (7,601 mm) y calibre (7,6 mm)**

- **Presentación de resultados**

La presentación de los resultados de este PFC en formato digital consta de vistas de las piezas en formato pdf 3D. Este formato de presentación ofrece ciertas ventajas, como es la posibilidad de interactuar (rotar, cambiar vista, luz, color, etc.) con la pieza y la facilidad con que se generan, ya que solo es necesario el programa Adobe Acrobat 3D.

- **Conclusiones generales de este PFC**

Consideramos que el objetivo global del PFC está conseguido, ya que los modelos tridimensionales son válidos, habiéndose obtenido una geometría completa y detallada, con una precisión por debajo del milímetro.

- **Propuestas de metodología:**

El láser escáner se está empleando cada vez más para la digitalización tridimensional gracias a su capacidad de capturar gran cantidad de datos en poco tiempo. Sin embargo, la obtención de modelos tridimensionales completos y válidos (tanto para fines científicos como para entornos multimedia) presenta muchas dificultades a partir de los datos brutos capturados. La combinación de la tecnología láser escáner con la fotogrametría se presenta como solución a este problema.

La demanda de modelos tridimensionales está continuamente en aumento en el campo de la documentación patrimonial. Estos modelos permiten, entre otros aspectos, documentar y analizar las formas y dimensiones con un grado de resolución muy elevado. Hoy en día existen dos técnicas principalmente que permiten generar modelos 3D de alta resolución y precisión: la fotogrametría digital y el escáner láser. La fotogrametría es una tecnología madura en la extracción de información 3D, a partir de la restitución estereoscópica o mediante técnicas automáticas de correlación. La aparición del láser escáner y el desarrollo del software para el procesamiento de los datos nos puede hacer pensar que esta tecnología es una solución complementaria para la generación de los modelos 3D de zonas complejas. Sin embargo, el láser escáner presenta aún una serie de dificultades, como son el registro preciso de diferentes nubes de puntos tomados desde un mismo objeto y la texturización de los modelos creados a partir de las nubes de puntos. Algunos programas comerciales presentan herramientas para eliminar o reducir las zonas ocultas. Una solución válida en algunos casos al problema del registro de la nube de puntos pasa por crear primero los modelos tridimensionales de cada una de las nubes y mejorar el registro inicial mediante algoritmos. Para la texturización de los modelos tridimensionales, algunos escáneres llevan incorporada o permiten el acople de una cámara fotográfica digital. Algunos programas también permiten aplicar texturas a los modelos 3D. Sin embargo, ninguna de estas soluciones proporciona una precisión y calidad suficientes en los resultados finales de aplicaciones que requieren máxima precisión y detalles finos. La fotogrametría, en cambio, es capaz de proporcionar presiones y calidades mayores en este sentido. Además las alineaciones y los contornos se definen y delimitan con mucha nitidez. Por tanto, encontramos en la combinación del láser escáner con la fotogrametría una solución adecuada para la generación de modelos tridimensionales con textura.

La combinación del escaneado láser y la fotogrametría terrestre garantizaría una solución acertada a la hora de generar modelos tridimensionales fotorrealísticos de calidad.



La modelización tridimensional posibilita la manipulación de objetos y la obtención de mediciones detalladas a través de una reconstrucción digital. Estos modelos tridimensionales pueden utilizarse para muy diversos fines, entre los que encontramos la documentación métrica del patrimonio cultural, la generación de productos multimedia, la impresión tridimensional e incluso la producción de vídeo juegos y películas animadas.

## 7. PRESUPUESTO

En este apartado, se realiza un cálculo sobre el coste total del proyecto que se ha llevado a cabo.

La elaboración de un presupuesto consiste en la evaluación de los costes que se originan en la ejecución del mismo. Los costes se pueden dividir en costes directos e indirectos. Los costes directos son los que intervienen directamente en el proceso de producción como la mano de obra, materiales, etc.; y los indirectos, son aquellos que están tan vinculados con el proceso de elaboración del mismo.

Para este PFC hemos supuesto que la jornada de trabajo de un Ingeniero Técnico Topógrafo, es valorada en 20€/hora y los demás costes, como el instrumental, han sido obtenidos a través de información cedida por la Universidad.

Los costes indirectos necesarios para el mantenimiento de una empresa, como alquiler de oficina, energía eléctrica, mantenimiento de coches de empresa, etc. se han valorado en 20€ al día.

Se ha dividido el presupuesto en tres partes:

- Escaneado con Laser 3D.
- Obtención de los modelos tridimensionales y análisis métrico.
- Redacción de la memoria.

En todos los apartados del presupuesto están reflejados los costes de todas las piezas en conjunto.

El presupuesto total es la suma de la realización del escaneado con Laser 3D, la obtención de los modelos tridimensionales, el análisis métrico y la redacción de la memoria.

OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA  
MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Proyecto:		OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D				
Actividad:		ESCANEADOS CON ESCÁNER LÁSER 3D				
Horas de trabajo efectivo:		15			Núm. De Ficha:	1
Coste Básico	Concepto	Unidades	Clase		Coste unidad	Coste total
	Mano de Obra	15 horas	I.T. Topógrafo		20,00 €/h	300,00 €
	Materiales					
	Total Coste Básico					300,00 €
Coste General de Producción	Concepto	Unidades	Clase		Coste unidad	Coste total
	Instrumental	4 días	Escáner 3D	Láser	150 €/d	600,00 €
		4 días	Ordenador		5 €/d	20,00 €
		1	Regla graduada		5 €	5,00 €
		4 días	Programa ScanStudio HD		30 €/d	120,00 €
	Transporte					
	Dietas					
	Otros costes					
	Total Coste de Producción					745 €
Costes Indirectos	Concepto	Unidades	Clase		Coste unidad	Coste total
	Gastos Generales	7 días	Oficina, vehículo, etc.		100,00€/d	700,00 €
	Total Costes Indirectos					700,00 €
Coste final de la Actividad						1745,00 €

Tabla 6 – Coste de los escaneados con Escáner Láser 3D

OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA  
MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Proyecto:		OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D			
Actividad:		OBTENCIÓN DE LOS MODELOS TRIDIMIENSIONALES Y ANÁLISIS			
Horas de trabajo efectivo:		50		Núm. De Ficha:	1
Coste Básico	Concepto	Unidades	Clase	Coste unidad	Coste total
	Mano de Obra	50 horas	I.T. Topógrafo	20,00 €/h	1000,00 €
	Materiales				
	Total Coste Básico				1000,00 €
Coste General de Producción	Concepto	Unidades	Clase	Coste unidad	Coste total
		8 días	Ordenador	5 €/d	40,00 €
		8 días	Programa ScanStudio HD	30 €/d	240,00 €
	Transporte				
	Dietas				
	Otros costes				
	Total Coste de Producción				280 €
Costes Indirectos	Concepto	Unidades	Clase	Coste unidad	Coste total
	Gastos Generales	8 días	Oficina, vehículo, etc.	20,00€/d	160,00 €
	Total Costes Indirectos				160,00 €
Coste final de la Actividad					1440,00 €

Tabla 7 – Coste de la obtención del modelo tridimensional

OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA  
MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Proyecto:		OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D				
Actividad:		REDACCIÓN DE LA MEMORIA				
Horas de trabajo efectivo:		30			Núm. De Ficha:	1
Coste Básico	Concepto	Unidades	Clase		Coste unidad	Coste total
	Mano de Obra	30 horas	I.T. Topógrafo		20,00 €/h	600,00 €
	Materiales	1	Papel A4 (500 folios)		10,00 €	10,00 €
		2	DVD		2 €/u	4,00 €
	Total Coste Básico					614,00 €
Coste General de Producción	Concepto	Unidades	Clase		Coste unidad	Coste total
		5 días	Ordenador		5 €/d	25,00 €
		1 días	Impresora		15 €/d	15,00 €
	Transporte					
	Dietas					
	Otros costes					
	Total Coste de Producción					40 €
Costes Indirectos	Concepto	Unidades	Clase		Coste unidad	Coste total
	Gastos Generales	5 días	Oficina, vehículo, etc.		20,00€/d	100,00 €
	Total Costes Indirectos					100,00 €
Coste final de la Actividad						754,00 €

Tabla 8 - Coste de la redacción de la memoria

Coste del proyecto	3939,00 €
Beneficio Industrial (15%)	590,85 €
Suma	4529,85 €
I.V.A. (21%)	951,27 €
<b>COSTE FINAL</b>	<b>5481,12 €</b>

Tabla 9 - Suma de costes y aplicación de B.I e I.V.A.

El presupuesto total del Proyecto se eleva a la cantidad de **cinco mil cuatrocientos ochenta y un euros con doce céntimos (5481,12 €)**.



A continuación se muestra un gráfico que representa la distribución del presupuesto por actividades:

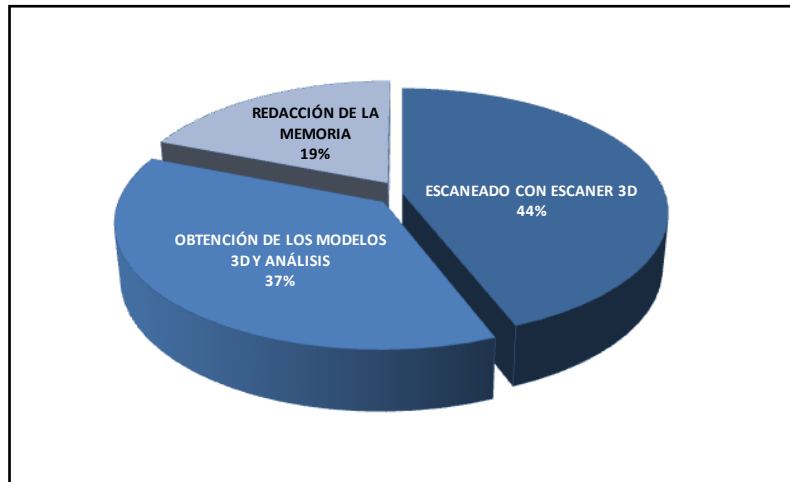


Ilustración 96 - Distribución del presupuesto por actividad

## 8. ANEJOS

### 8.1.ANEJO I: APLICACIONES DE LOS SISTEMAS LÁSER ESCÁNER

La tecnología de adquisición masiva de datos mediante el empleo del sistema laser tridimensional es, a día de hoy, un mundo en plena expansión.

Entre las aplicaciones en las que se puede trabajar con un equipo escáner laser, se plantean en primer lugar sus aplicaciones topográficas, ya que son con las que más familiarizados estamos. Este sistema de trabajo puede aportar un valor añadido importante en aplicaciones cotidianas tales como levantamientos topográficos, de taludes, presas, túneles, carreteras, viaductos, etc. Además también se aplica en levantamientos de plantas industriales, instalaciones, construcción naval, sistemas de tuberías, plataformas marítimas, preservación histórica, forenses, militar, captura de realidad, arqueología, etc.

Los levantamientos topográficos por medio del equipo láser escáner tridimensional se usan también en escenas del crimen, atentados o accidentes; y permiten obtener una documentación topográfica del lugar y de los objetos presentes de forma exhaustiva, incluyendo información métrica (tridimensional) e imágenes (bidimensional). Estos levantamientos se obtienen en un corto espacio de tiempo, lo que facilita la normalización de la circulación en el caso de accidentes, o el inicio de las reparaciones en tiempos record.

Algunas de las aplicaciones y fines de esta tecnología son los siguientes:

#### 1.1.1. Ingeniería inversa

La ingeniería inversa consiste en obtener la geometría completa de una pieza real, sin necesidad de sus planos técnicos. Se trata de adaptarla a los sistemas CAD/CAM/CAE para que, una vez integrada en estos sistemas, podamos obtener rendimiento de todas las operaciones que se ofrecen: modelado, mecanizado y análisis. Es también un proceso de duplicación de objetos, sin la ayuda de documentación técnica que contiene las especificaciones de diseño y fabricación. El objeto en cuestión puede ser una pieza, un componente o un sistema. La ingeniería inversa tuvo en sus orígenes esta finalidad, la del copiado, pero hoy en día ofrece también otras interesantes aplicaciones.

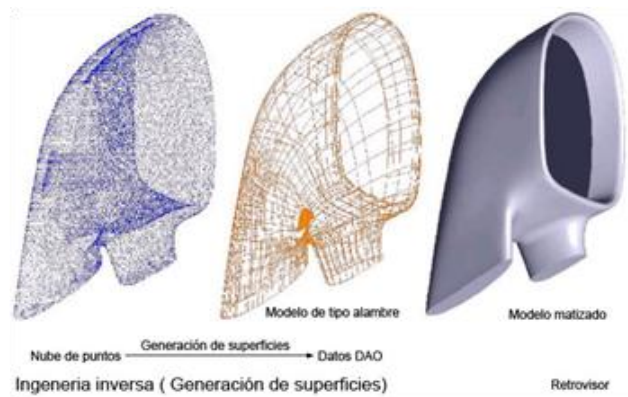


Ilustración 97 - Ingeniería inversa aplicada a un retrovisor de automóvil

El proceso de la ingeniería inversa comprende todo un abanico de técnicas, por lo que precisa de un variado sistema de software, cada uno con características que lo hacen adecuado para cierta parte del proceso.

### 1.1.2. Construcción de túneles

La tecnología láser escáner ofrece numerosas ventajas durante la construcción y el mantenimiento de túneles. La documentación para el trabajo subterráneo se puede acelerar de manera sustancial y las superficies del túnel se pueden medir directamente después de la perforación o directamente trabajando detrás del protector de la máquina tuneladora que va perforando.

Un ejemplo en el levantamiento de túneles, lo aporta la empresa de servicios topográficos TOYSER de Barcelona, que se encarga de gran parte de los trabajos de topografía en el Metro de la ciudad. Esta empresa considera una ventaja la captura de datos masiva que le proporciona el sistema escáner láser tridimensional, para la posterior extracción de los perfiles transversales. En un túnel de Metro la toma de detalle es importantísima debido a la cantidad de servicios que existen en el proyecto.

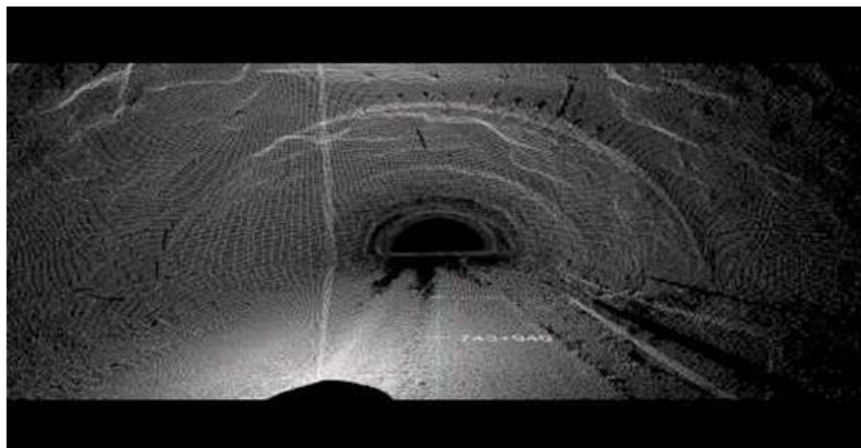


Ilustración 98 - Nube de puntos generados por escáner en túnel

### 1.1.3. Derrumbes y hundimientos

La técnica de modelización tridimensional se ha tenido en cuenta en el estudio de derrumbes y hundimientos. Este apartado de la aplicación del Escaneado 3D es útil ya que se puede obtener en poco tiempo mucha información que puede esclarecer las causas de un derrumbe o hundimiento. Por otro lado, esta tecnología también puede aportar datos sobre la situación del terreno en el caso de haberse producido un temblor de tierra, ayudando así, al análisis y toma de las mejores decisiones para la reconstrucción de las infraestructuras que pudieran haberse visto afectadas.

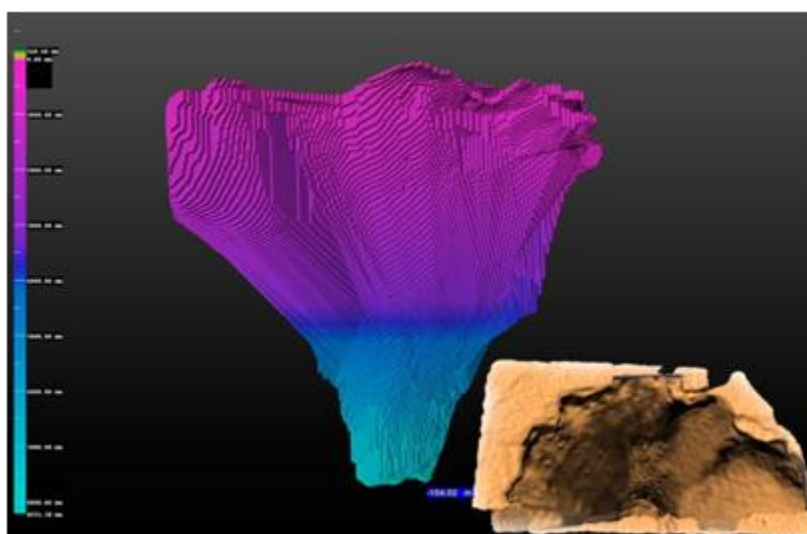


Ilustración 99 - Levantamiento 3D de un derrumbe

### 1.1.4. Patrimonio

Los sistemas de documentación de bienes históricos han avanzado al compás de las tecnologías disponibles en cada momento. La necesidad de conseguir un procedimiento que proporcione datos precisos de una manera eficaz y productiva ha forzado a seguir de manera muy próxima los avances técnicos disponibles en cada momento.

En una primera fase el trabajo de los dibujantes se complementó con la fotografía química y con la fotogrametría. Hoy en día, la tecnología laser escáner, aporta numerosos beneficios a los procesos de documentación de los sistemas tridimensionales.

Debido a la elevada densidad de información que podemos capturar con estos sistemas, unida a la gran precisión de las medidas individuales, es posible detectar

pequeños cambios en la forma de grandes elementos, como puede ser el abombamiento del sustrato de un fresco en una cúpula, o el pandeo de una fachada.

Los sistemas de medición tridimensional suponen un complemento eficaz en las operaciones de documentación de los bienes patrimoniales, especialmente por la flexibilidad y rendimiento que proporcionan. Así mismo la capacidad de obtener información permite acortar los plazos de los proyectos, así como aumentar la calidad de los mismos. Características como la medición sin contacto y a distancia, y la nula alteración del objeto analizado hacen que en determinadas ocasiones estos sistemas sean la única alternativa viable.



Ilustración 100 - Escaneado de alta precisión de una vasija

Otro ejemplo de la utilización de esta tecnología es el levantamiento de fachadas de edificios. Estos procedimientos permiten, con los escaneados que sean necesarios para cubrir toda la superficie de la fachada, poder tener un modelo tridimensional que permita realizar las operaciones necesarias para su estudio en un periodo de tiempo más reducido que por los métodos topográficos tradicionales.



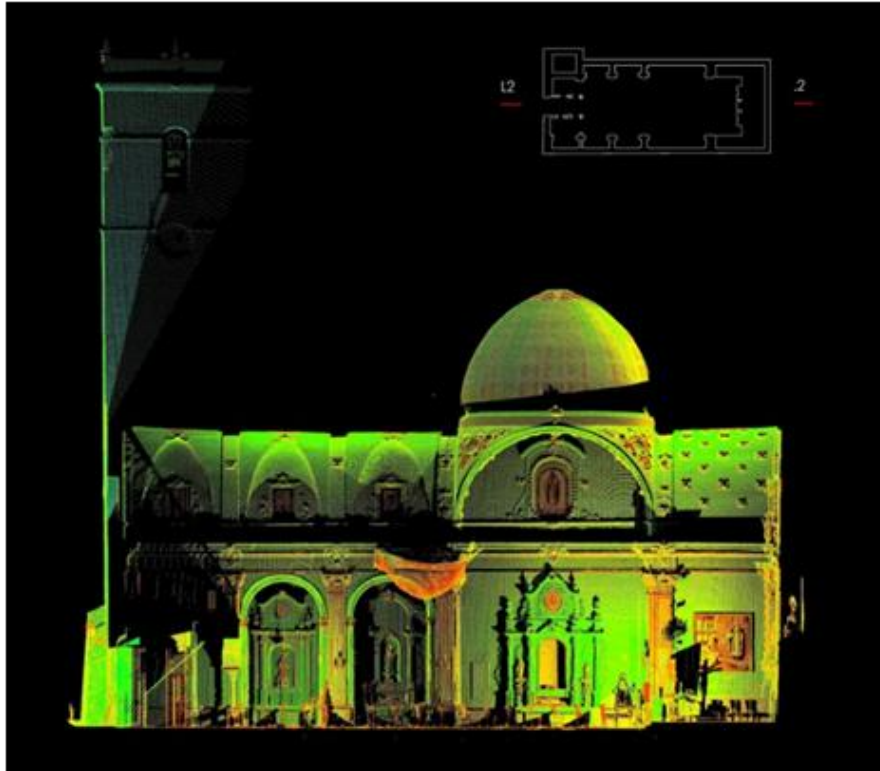


Ilustración 101 - Levantamiento de la fachada de una iglesia con equipos láser escáner 3D

#### 1.1.5. Accidentes de avión, de circulación y escenas del crimen

Otro caso que puso en evidencia la utilidad de los sistemas de escaneo láser fue el desplome del trasbordador espacial americano Columbia en febrero de 2003. La NASA y Boeing, organizaciones a cargo del mantenimiento del trasbordador espacial, realizaron el escaneado de todas las piezas que se encontraron de la aeronave, utilizando instrumentos láser y la reconstruyeron por completo para analizar las causas del accidente.

Con anterioridad la NASA y Boeing habían adquirido varios sistemas de escaneo láser tridimensional que permitieron obtener un modelo tridimensional actualizado y real del trasbordador. Este primer escaneado se utilizó para la reconstrucción después del accidente.



Ilustración 102 - Restos del transbordador espacial Columbia

Este mismo tipo de estudio se puede realizar cuando existen accidentes de circulación o en escenas de crímenes. El equipo escáner láser aporta un registro numérico prácticamente exhaustivo de los hechos en un instante preciso. Esto puede servir para confirmar o desechar las diferentes hipótesis emitidas por los investigadores. La demostración de la culpabilidad o la inocencia de los sospechosos en los tribunales se puede facilitar a través de estos estudios tridimensionales. En caso de litigio, los datos recuperados con escáner láser tridimensional pueden aportar elementos adicionales para la comprensión de los hechos. Se utilizan sistemas de escaneado láser tridimensional para efectuar los levantamientos topográficos de accidentes de automóvil, para posteriormente analizar las causas del mismo.



Ilustración 103 - Modelo tridimensional de un coche accidentado

#### 1.1.6. Animación tridimensional

Hoy en día existen gran cantidad de películas cuyos efectos especiales se hacen con equipos láser escáner tridimensional. Esta tecnología está, desde hace ya unos años, a la orden del día en la producción de películas para el cine.

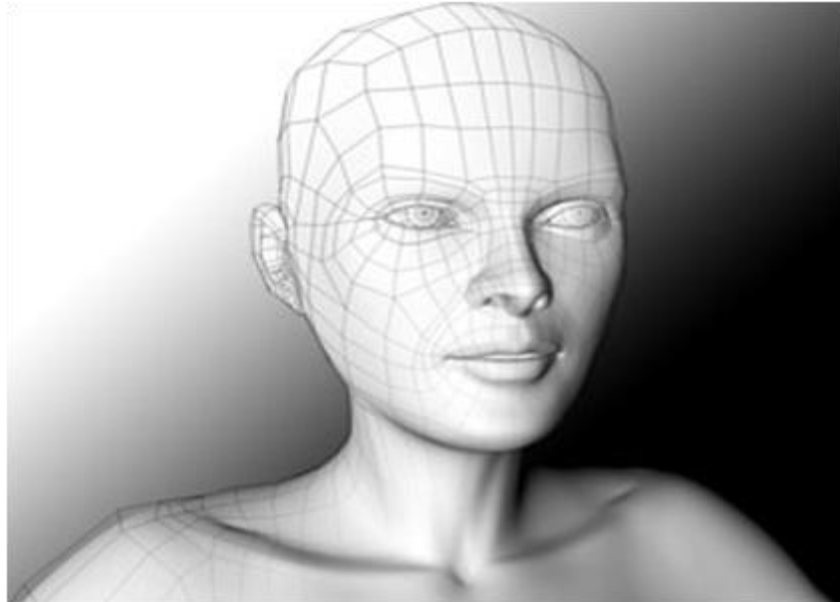


Ilustración 104 - Imagen tridimensional de película 3D

## 8.2.ANEJO II: EL SISTEMA LÁSER ESCÁNER 3D

### 8.2.1. Descripción del equipo Láser 3D y del programa de control

El escáner 3D utilizado en este proyecto es de la compañía NextEngine. Con el equipo se pueden realizar capturas de objetos en tres dimensiones a todo color mediante un sistema multi-láser de precisión.

El escáner incluye un software propio de procesamiento de datos llamado ScanStudio HD que permite realizar la exploración, alineación, fusión, depurado de las imágenes escaneadas y la exportación en diferentes tipos de ficheros STL, OBJ, VRML, U3D, entre otros muchos formatos. También hace posible la salida de resultados en modelos 3D para que sean compatibles con los programas de diseño más populares como son SolidWorks, 3DS Max, ZBrush, Rhino, Modo, Matemática; y permite imprimir los modelos tridimensionales con ZCrop, Stratasys y otras impresoras 3D.

#### 8.2.1.1. Características del equipo laser escáner 3D de NextEngine

El escáner 3D de NextEngine, que se muestra en la Ilustración 105, es un dispositivo de escaneo láser que utiliza múltiples láseres para escanear un objeto tridimensional, se basa en la triangulación óptica de medición 3D.

El escáner está formado por dos componentes básicos: uno es la unidad del escáner principal y el otro el auto-posicionador.

Las dimensiones del escáner son 224 mm de largo, 91 mm de ancho y 277mm de alto (224 x 91 x 277mm). El escáner de sobremesa contiene óptica láser, cámaras y equipos de procesamiento. Utiliza matrices de cuatro clases 1M 10 mW (650nm de longitud de onda), láseres de estado sólido y dobles sensores de imagen CMOS RGB de 3.0 megapíxeles, para capturar la geometría y las texturas de color de un objeto. La iluminación de estudio incluye iluminadores de luz blanca con tri-fósforo, para toda la gama de colores. No hay ningún límite preestablecido para el objeto. La velocidad de adquisición es de 50.000 puntos/seg. Hay dos modos de escanear: "wide" y "macro". La elección del modo depende tanto del tamaño del objeto como de las resoluciones de los archivos de salida. El área visible para el modo "macro" es de 130 x 97mm, la distancia entre el objeto y el escáner es alrededor de 178mm, el área visible para el modo "wide" es de 343 x 256mm y la distancia de alcance es de unos 406mm. La resolución, la textura de color y la exactitud de estos dos modos son también diferentes. El modo "macro" utiliza 200 ppp de resolución y 400 ppp de densidad de puntos sobre la superficie y una precisión de  $\pm 0,127$  mm. En el modo "wide" sólo se

alcanza una resolución de 75 ppp, una densidad de 150 ppp y una precisión de  $\pm 0.381\text{mm}$ .



Ilustración 105 - Equipo láser escáner y auto-posicionador NextEngine

El auto-posicionador es un plato giratorio controlado por el software NextEngine ScanStudio HD. A pesar de que tiene una limitación de peso del objeto de 9 kg, es muy estable y útil cuando se necesita la opción de escaneo de 360°. El auto-posicionador proporciona una serie de posiciones (un conjunto de intervalos de rotación) para un objeto tridimensional, girándolo cada vez que escanea un sector. Este proceso produce varias secciones de la digitalización en 3D. Después de la digitalización de 360°, las secciones se pueden alinear como un objeto entero utilizando el software de NextEngine, ScanStudio HD.

La conexión entre el escáner y el ordenador se realiza mediante un puerto USB 2.0., y la del auto-posicionador y el escáner se realiza mediante un conector RJ-42.

#### ***8.2.1.2. Características del software ScanStudio HD de NextEngine***

##### ***a. Requisitos del sistema para el software***

Es muy importante tener un potente ordenador para el correcto funcionamiento del equipo y del software, ya que el escáner 3D es un dispositivo de alta resolución que captura rápidamente muchos millones de puntos y píxeles.



La Tabla 10 muestra los requisitos del sistema para el Software ScanStudio HD de NextEngine:

	REQUISITOS MÍNIMOS	CONFIGURACIÓN RECOMENDADA
<b>CPU</b>	2GH PC	Dual Core CPU
<b>RAM</b>	2GB RAM	4GB RAM
<b>TARJETA GRÁFICA</b>	128 MB	512 MB
<b>SISTEMA OPERATIVO</b>	Windows XP	Windows XP64 (modo 32 bit)
<b>USB</b>	USB 2.0	USB 2.0 Powered Hub
<b>MEMORIA</b>	10 GB de Disco Duro	Más de 10GB de disco

Tabla 10 - Requisitos para el software

### *b. Introducción al interfaz de usuario*

La Ilustración 106 presenta la pantalla principal de NextEngine ScanStudio HD cuando el programa se arranca.

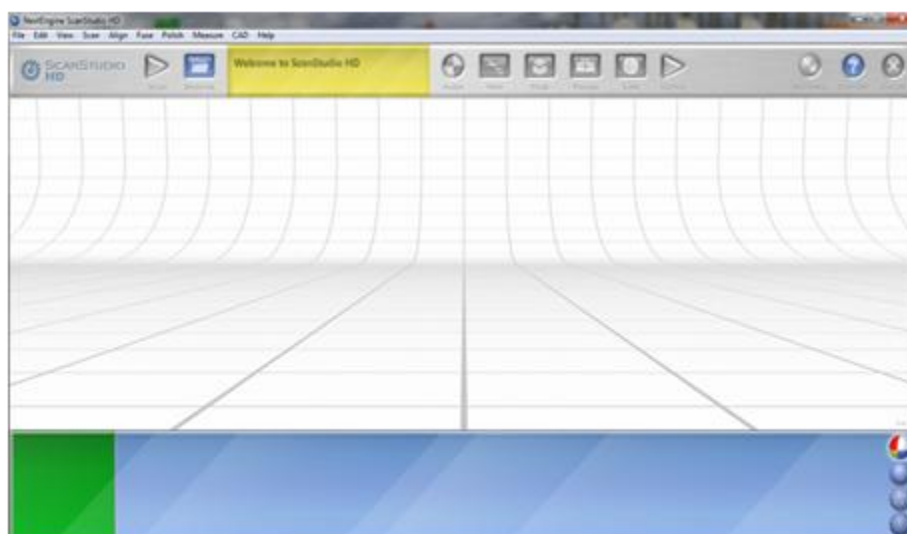


Ilustración 106 - Pantalla principal de ScanStudio HD

#### *A) Menú de control*

El menú de control tiene dos áreas. Una es el Menú de opciones (Ilustración 108), la otra es el Menú de Control Principal (Ilustración 107). El usuario puede controlar el escaneado y el proceso eligiendo las distintas opciones del menú.

## OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D



Ilustración 107 - Menú de control

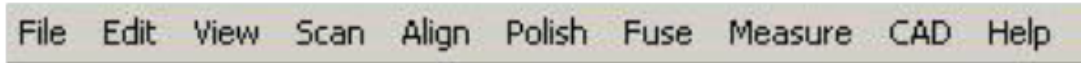


Ilustración 108 - Menú de opciones

El usuario puede también elegir los procesos, seleccionando la opción deseada en los botones gráficos del menú de control principal (Ilustración 109):



Ilustración 109 - Menú de control principal

- **Browse:** Opciones de archivo, el botón “Browse” es utilizado para abrir, guardar, importar y exportar archivos.
- **Align:** Se utiliza para alinear las diferentes tomas de escaneo de una misma pieza con el fin de que se formen y compilen en el orden correcto.
- **Trim:** Esta orden es empleada para eliminar ruido en las imágenes escaneadas: en primer lugar se realiza una selección y posteriormente se cortan “o eliminan” las partes innecesarias de las piezas escaneadas.
- **Fuse:** para fusionar las piezas alineadas como un objeto entero.
- **Polish:** permiten al usuario refinar el modelo, rellenando posibles agujeros existentes en el objeto, realizando una operación de pulido o suavizado para todas aquellas superficies que así lo requieran.
- **CAD:** utilizado para preparar el modelo escaneado con las propiedades y dirección tridimensional deseada para exportar a extensión CAD.

La siguiente Ilustración muestra los restantes componentes del menú de control:



Ilustración 110 - Otros componentes del menú de control

- **a.** El botón enlaza con la web oficial de NextEngine.
- **b.** Al hacer clic en el botón MODE, la ventana del visor mostrará el objeto en diferentes modos. En la versión actual de ScanStudio NextEngine HD, los cuatro botones de Modo están en el lado derecho de la barra de miniaturas. SUPPORT es un botón de conexión a la NextWiki, Centro de Apoyo, como la opción de menú Ayuda. Cuando se plantean algunos problemas que deben ser abordados, aparecerá automáticamente, el wiki mostrará los errores y ejecutará automáticamente un tutorial de NextEngine ScanStudio HD. También permite actualizaciones del software. Al hacer clic en el botón CLOSE el archivo actualmente en ejecución se cerrará.
- **c.** Corresponde a la ventana de procesamiento. Normalmente se muestra el nombre del archivo. También muestra los detalles de procesamiento cuando el proceso está siendo ejecutado.
- **d.** El botón de escaneo. Si el hardware del escáner 3D está disponible y conectado correctamente, está en color verde, de lo contrario estará de color gris.

#### *B) Ventana del visor de objetos*

La ventana del visor de objetos tiene cuatro modos de visualización accesible pulsando el botón MODE botón (Ilustración 111).



Ilustración 111 - Botón MODE, cuatro maneras de ver el objeto

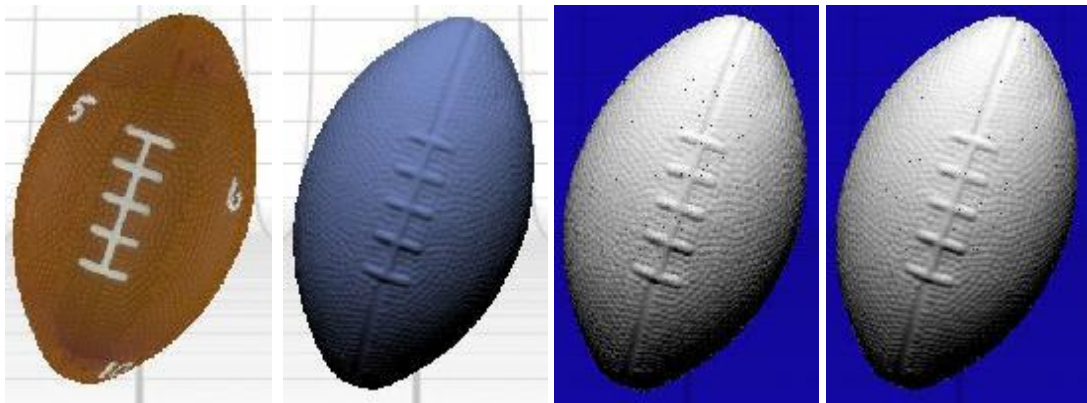


Ilustración 112 - Diferentes modos de visualización del objeto. De izquierda a derecha: textura, sin textura, triangulación y puntos.

El primer modo de visualización muestra el objeto con textura, mientras que el segundo muestra el objeto sin textura, como una superficie. El tercer modo de visualización presenta la forma del objeto con polígonos y finalmente el cuarto modo muestra la forma del objeto con puntos (Ilustración 112). Para facilitar la visualización, los modos tercero y cuarto se presentan con un color azul de fondo de pantalla. Otro ejemplo de visualización de estos modos se muestra en la Ilustración 113.

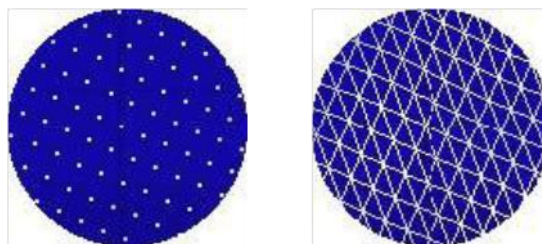


Ilustración 113 - Detalle del modelo de visualización en malla y punto

El ratón se puede utilizar para mover el objeto en diferentes direcciones arrastrándolo y también para acercar y alejar el modelo. Arrastrando el botón derecho del ratón horizontalmente en los espacios vacíos, se podrán ver los detalles de los objetos.

### 8.2.1.3. Jerarquía del escaneado

Cada exploración crea una familia de imágenes. La primera familia creada para el modelo se denominará A, la segunda B, y así sucesivamente.

Los miembros de una familia de exploración son numeradas como N1, N2, N3, etc., donde N es la letra de identificación de la familia. La Ilustración 114 muestra la organización de las exploraciones de un modelo creado a partir de un análisis de 360º con seis divisiones, seguido de otro análisis de tres divisiones y un último análisis sin divisiones.

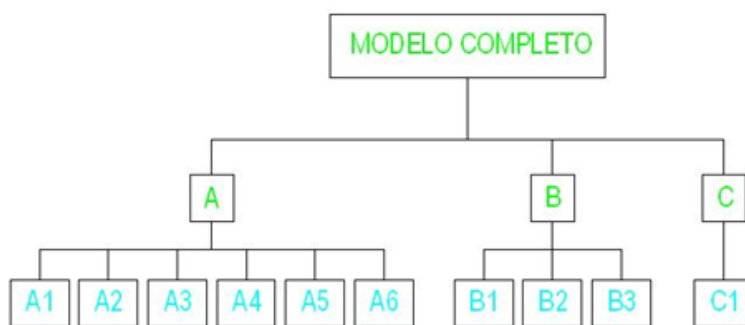


Ilustración 114 - Ejemplo de jerarquía de escaneado

Cuando se termina una exploración multi-división, la familia queda representada por una imagen en miniatura en la barra verde y azul en la parte inferior de la pantalla. Para acceder a los distintos miembros de una familia, se debe hacer doble clic en la miniatura de la familia. Las otras familias, en caso de que las hubiere, desaparecen y la barra muestra el nivel inferior de la jerarquía, donde cada miembro de la familia está representado por la imagen en miniatura correspondiente. Se puede volver al nivel de la familia, haciendo clic en la palabra Up junto al primer miembro de la familia.





Ilustración 115 - Ventana donde se muestran las familias y las tomas de una familia

Cuando los miembros de una familia están alineados aparecen en la zona verde. En ese caso, si se desea aislar uno de los miembros individuales de la edición, primero hay que separarlo arrastrando su miniatura a la zona azul. El miembro seleccionado puede ser devuelto a su familia arrastrándolo de nuevo en la zona verde. Hay que tener en cuenta que si un miembro se separa de una familia, es excluida de las operaciones que se aplican a la familia, como una fusión, una regeneración, etc.

#### 8.2.1.4. Panel principal de escaneado

Pulsando el botón “SCAN” accedemos al menú principal de escaneado (Ilustración 116). En la parte superior de la pantalla aparece el botón “BACK” en color azul, una ventana en color amarillo, unos botones de direccionamiento y el botón de comienzo de escaneo que se describe a continuación (Ilustración 117).



Ilustración 116 - Botón SCAN



Ilustración 117 - Menú de control del escaneado

- a. La ventana “a” de color amarillo muestra el nombre del modelo que se está escaneando. El usuario puede cambiar este nombre pulsando dentro del recuadro, junto a la palabra MODEL.
- b. Los botones de rotación “b” hacen girar la plataforma del auto-posicionador para colocar el objeto que se vaya a escanear en la posición deseada por el usuario.
- c. Los botones de direccionamiento “c” realizan un movimiento de la ventana de encuadre hacia derecha e izquierda para fijar dentro de la misma el objeto que se vaya a escanear.
- d. El botón “BACK” se utiliza para volver al menú principal.

En relación con los modos de escaneado, existen tres tipos:

- **Single:** Es el más rápido y escanea solo una parte del objeto, desde un solo ángulo.
- **Bracket:** Puede escanear el objeto desde tres ángulos continuos, el grado de rotación está controlado por la división numérica seleccionada por el usuario. El resultado serán tres imágenes escaneadas que habrá que alinear y pertenecerán a una nueva familia.
- **360°:** Escanea el objeto completo desde todos los ángulos. El grado de rotación entre escaneados y el número total de tomas es controlado por el número de divisiones. Por ejemplo:  $360^\circ / n^\circ \text{ de divisiones} = \text{Grado de rotación}$ . Un escaneo completo conforma una nueva familia de escaneo.



Ilustración 118 - Tres diferentes modos de escaneado seleccionables

#### 8.2.1.5. Velocidad, color y precisión

Características muy importantes del escaneado son la precisión y la velocidad con las que se realicen las tomas.

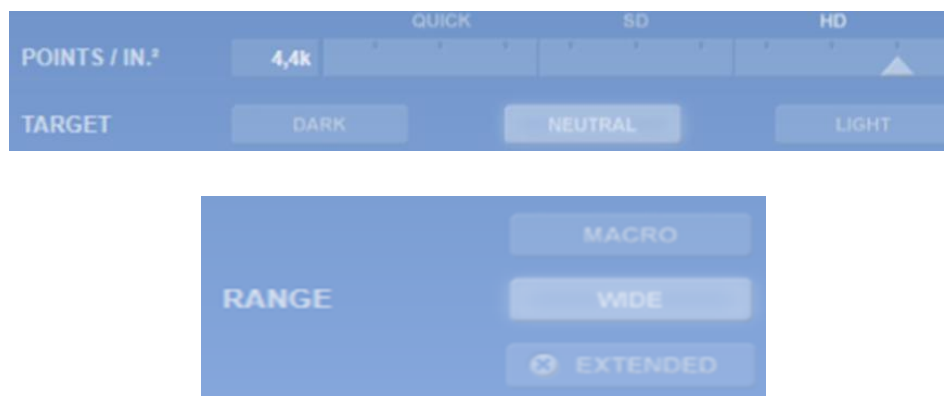


Ilustración 119 - Precisión y velocidad seleccionables

### Velocidad

Hay tres velocidades de escaneo diferentes: QUICK, SD y HD. Las propiedades de la velocidad dependen del tiempo de escaneo y de la calidad deseada. Cada uno de estos modos está subdividido en tres posibles posiciones y según en el cual de ellas nos situemos obtendremos un tiempo y precisión distinta. La ventana de color amarillo en el panel de control mostrará también el tiempo aproximado total para diferentes modos de velocidad.

### Color

Se trata del control para ajustar el color del objeto que se va a escanear. Tiene tres posiciones: DARK, NEUTRAL, LIGHT. Se ha de tener en cuenta los siguientes parámetros antes de escanear un objeto: la posición DARK se debe seleccionar para los objetos muy oscuros para que el tiempo de exposición sea máximo. Para los objetos completamente claros el valor que se ha de fijar deberá ser LIGHT.

### Precisión

Hay dos modos de precisión que se eligen en función de la distancia de escaneo: “Macro” y “Wide”. La elección la determinará el tamaño del objeto y la resolución deseada.

**Macro** = 0,127mm de precisión, el campo de visión es de 76x127mm. El objeto se coloca a una distancia del escáner de 165mm.

**Wide** = 0,381mm de precisión, el campo de visión es de 254x330mm. El objeto se coloca a una distancia del escáner de 432mm.

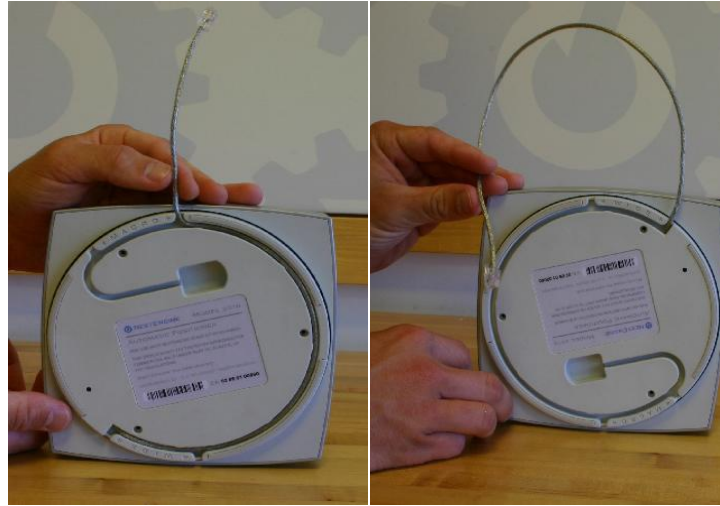


Ilustración 120 - Izquierda: modo MACRO. Derecha modo WIDE

### 8.2.2. Proceso de escaneados 3D

El siguiente diagrama de flujo muestra el orden en que se utilizaran las herramientas del programa para escanear un objeto y obtener un modelo tridimensional del mismo:



Ilustración 121 - Diagrama de flujo del proceso

### *8.2.2.1. Fase previa de escaneado*

Una vez que el programa esté instalado en el ordenador y el escáner esté conectado, hay que asegurarse de que todos los componentes necesarios estén disponibles para realizar el escaneo. Estos componentes son:

- Ordenador con el programa ScanStudio NextEngine HD instalado.
- El escáner 3D NextEngine de sobremesa.
- El cable USB.
- El cable de alimentación.
- El Auto-posicionador.
- Varilla porta base.
- Conector del Auto-posicionador.

Los pasos de la conexión son los siguientes:

- Conectar el cable de alimentación al escáner.
- Conectar el cable USB al puerto USB del ordenador y en la parte trasera del escáner.
- Introducir la varilla porta base en una de las cuatro esquinas del auto-posicionador.
- Introducir el plato base y la pinza soporte en la varilla porta base, apretando los tornillos prisioneros correspondientes a cada una de las partes.
- Conectar el auto-posicionador en el escáner.

Después de preparar el trabajo anterior, se deben marcar algunos puntos en el objeto si esto fuera posible, o en su defecto, utilizar elementos auxiliares que aparezcan en las tomas, por ejemplo una regla graduada. Estos elementos auxiliares serán útiles para facilitar el proceso de alineación que se realizará más adelante. Se colocará el objeto auxiliar en el escenario de escaneado. Para la opción de precisión “WIDE”, la distancia entre el objeto y el escáner es aproximadamente de 40-50 cm, mientras que para la opción “MACRO”, la distancia será de 16 cm aproximadamente. Cuando esté todo preparado, se abrirá el programa ScanStudio NextEngine HD y la ventana de escaneado. Por último, antes de fijar las propiedades de escaneo, se actuará sobre el comando de rotación y direccionamiento para comprobar que todo el objeto esté dentro de la ventana del visor de escaneo y del alcance del rayo láser.

Una vez comprobado que la totalidad del objeto queda dentro de la ventana del visor de escaneo, se pulsará el botón SCAN y los rayos rojos del escáner comenzarán a recorrer toda la superficie del objeto de estudio. Cuando se termine una toma, el auto-posicionador girará los grados determinados y realizará la segunda toma. Este proceso se realizará el número de veces que se haya definido previamente.



### 8.2.2.2. *Alineado, cortado y fusionado de las tomas*

#### a. *Alineado (Align)*

Una vez realizada la primera exploración, y en función del tipo de escaneado elegido obtendremos una o varias tomas del objeto en la parte inferior de la pantalla. Cada una de ellas representa un miembro de la familia o una toma del escaneo. Debemos alinear cada una de esas tomas para obtener una imagen tridimensional del escaneo realizado.



Ilustración 122 - Botón ALINEAR

Si el objeto no tuviera marcas naturales en su superficie que nos permitieran utilizarlas posteriormente como puntos identificativos entre las diferentes tomas para realizar la alineación, deberíamos realizar unas marcas artificiales en el propio objeto para facilitar una correcta alineación.

Para llevar a cabo la alineación de una familia de tomas, se elegirán dos imágenes miniatura en la parte inferior, una por defecto en la casilla de color verde y otra en la casilla de color azul. Una vez seleccionadas las dos miniaturas se pulsará el botón de alinear. En la pantalla aparecerán ampliadas ambas imágenes, y nuestra misión ahora consistirá en localizar al menos tres puntos homólogos en ambas imágenes y marcarlos con las bolitas (pins) de colores que aparecen en la parte superior derecha de cada una de las imágenes. Una vez que se hayan identificado y marcado al menos los tres puntos en ambas imágenes, se pulsará la orden “Attach Scans” dentro de la ventana de color amarillo en el panel principal. En ese momento darán comienzo los cálculos de alineación entre todas las tomas de la familia de imágenes, y se obtendrá un mensaje cuando el modelo esté alineado (“Model Aligned”). Las tomas en miniatura que anteriormente figuraban en las casillas de color azul aparecerán ahora en la zona verde, mostrando que han quedado alineadas y enlazadas.

En la parte superior del panel aparecerá una barra naranja indicando la precisión obtenida en la alineación de las familias.

### *b. Cortado (Trim)*

Tras la alineación del primer escaneado, el objeto completo se mostrará en la pantalla junto a algunas partes innecesarias que han podido ser escaneadas con el objeto, por ejemplo alguna parte del auto-posicionador o de la pinza soporte. La herramienta “CORTAR” permite eliminar esos elementos auxiliares, y se emplea siempre después de cada alineación.



Ilustración 123 - Botón CORTAR

El menú TRIM engloba una serie de herramientas, como se muestra en la Ilustración 124, que permiten hacer la selección de las partes del objeto escaneado que se deseen eliminar. El área seleccionada cambia a color rojo y el resto permanece en su color o textura original. Una vez esté realizada y verificada la selección se pulsará la orden Trim y automáticamente se eliminarán del modelo los elementos seleccionados.



Ilustración 124 - Componentes del menú CORTAR

Las herramientas del menú TRIM son:

- a.** Botón de navegación del ratón: es el interruptor de funcionamiento normal del ratón.
- b.** Selector circular: dejándolo pulsado hacemos la selección de la parte del objeto que deseamos eliminar.
- c.** Selector Cuadrado: el puntero de selección de objetos que aparece en pantalla es cuadrado.
- d.** Selector de arrastre cuadrado: si dejamos el botón izquierdo del ratón pulsado y nos desplazamos por la pantalla realizaremos una captura en forma de ventana.

- e. Selector poliforma: selecciona un área mediante un dibujo de polilínea irregular.
- f. *All*: selecciona todo.
- g. *De/Select*: es el interruptor de seleccionar y de eliminar la selección.
- h. *Trim*: después de la selección se presiona este botón para eliminar los objetos.

En general, tras el primer escaneado el modelo está finalizado tras la eliminación del ruido. Sin embargo puede ocurrir que falte información de alguna parte del objeto de estudio, como la parte superior e inferior del objeto. Por este motivo se hace necesario realizar al menos otros dos escaneados más en diferentes posiciones para así completar el modelo.

### c. *Fusionado (Fuse)*

El fusionado es el medio de compilar todas las partes alineadas y libres de ruido de la pieza con el objetivo de unir los grupos de imágenes y conformar un modelo completo.

El proceso incluye los siguientes pasos:

- Inicialización.
- Analizar el modelo a fusionar.
- Procesar las exploraciones fusionadas.
- Procesar el mallado de las exploraciones.
- Reparación o fijación de agujeros.
- Regeneración de la textura de la malla.
- Simplificación de la malla.
- Fusión de texturas.

Cabe señalar que tanto la fijación y reparación de los agujeros (holes) como la simplificación de las mallas, también puede realizarse manualmente con la herramienta “POLISH”.

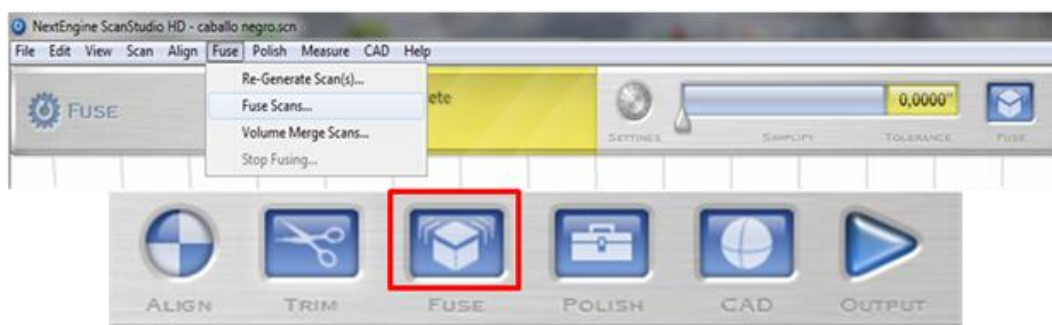


Ilustración 125 - Botón de FUSION y barra de herramientas

El menú de control de Fuse contiene un botón de configuración, una barra deslizable de simplificación, un botón de fusión y una barra amarilla (Ilustración 125).

- La ventana amarilla: muestra el proceso de fusión y la información del archivo.
- El botón de configuración (*Settings*): Abre la ventana de configuración que se muestra en la Ilustración 126:

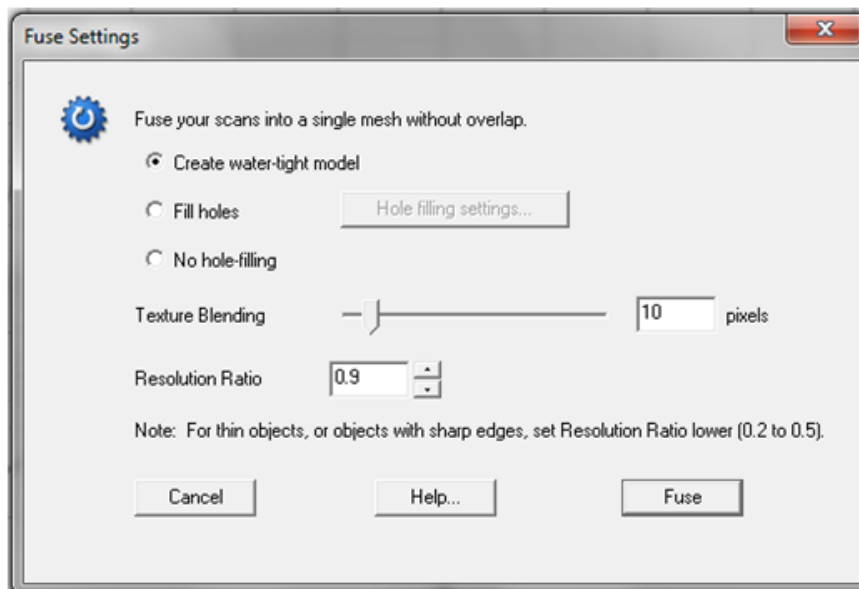


Ilustración 126 - Panel de configuración de FUSIONADO

- **Create water-tight model:** permite crear un modelo cerrado de la pieza escaneada.
- **Fill holes:** con esta casilla marcada se cerrarán todos los agujeros con un tamaño superior al valor que se introduzca en la configuración (hole filling settings).
- **No hole-filling:** si marcamos esta casilla no se cerrará ningún agujero en el proceso de fusionado de todas las tomas.
- **Texture blending:** es un mezclador de texturas e indica cuantos pixeles serán mezclados.
- **Resolution ratio:** índice de resolución.
- Para objetos delgados u objetos con bordes afilados, es recomendable ajustar el índice de resolución al más bajo (entre 0,2 y 0,5).
- **Fuse:** botón de fusionado. Se deberá ejecutar cuando estén bien definidas todas las opciones de la fusión. Cuando se pulsa el botón Fuse, éste cambia a un botón de parada (stop) para anular la operación de fusionado cuando el usuario lo desee.

Si un objeto tiene varias partes la fusión puede realizarse en diferentes momentos, y las partes han de compilarse una a una.

El modelo resultante de la fusión será una nueva familia en el bloque verde de la barra inferior de vistas en miniatura.

#### 8.2.2.3. *Comprobación, preparación y mejora del objeto*

Es importante la comprobación, preparación y mejora del objeto 3D en bruto, antes de exportarlo a un fichero de CAD. El objeto posiblemente necesitará algún pequeño retoque y modificación, que se realizará manualmente con la orden POLISH para simplificar, suavizar o tapar agujeros.

Por otra parte, la herramienta CAD también puede emplearse para definir un espacio de coordenadas global en el espacio objeto, orientado según nuestras necesidades.



Ilustración 127 - Botón POLISH

El refinado (botón POLISH) consta de tres opciones: puede rellenar agujeros, suavizar la superficie y simplificar polígonos. Estas operaciones se corresponden con las funciones FILL, BUFF y SIMPLIFY que se despliegan al pulsar dicho comando.



Ilustración 128 - Funciones FILL, BUFF y SIMPLIFY

### a. Relleno (Fill)

Podremos ahorrar tiempo en el relleno de agujeros, si se realiza automáticamente, durante la fase de fusonado. La Ilustración 129 muestra el menú de Relleno:



Ilustración 129 - Menú de la opción FILL

- a. Botón de navegación del ratón: es el interruptor de funcionamiento normal del ratón.
- b. Selector circular: dejándolo pulsado hacemos la selección de la parte del objeto que deseamos eliminar.
- c. Selector Cuadrado: el puntero de selección de objetos que aparece en pantalla es cuadrado.
- d. Select: es el interruptor de seleccionar.
- e. Deselect: es el interruptor de deseleccionar.
- f. Fill: después de la selección se presiona este botón para rellenar los agujeros seleccionados.

### b. Suavizado (Buff)

En ocasiones, la existencia de puntos erróneos hace que la superficie se vea un poco vasta tras el proceso de escaneo o del relleno. La situación se corrige aplicando un suavizado (*Buff*), obteniendo así una superficie más refinada. Esta acción la podemos comparar como cuando un artista suaviza la superficie de una escultura de yeso con un trozo de papel de lija. La Ilustración 130 muestra el menú de suavizado:



Ilustración 130 - Menú de control de la herramienta BUFF



- a. Botón de navegación del ratón: es el interruptor de funcionamiento normal del ratón.
- b. Selector circular: dejándolo pulsado hacemos la selección de la parte del objeto que deseamos eliminar.
- c. Selector cuadrado: el puntero de selección de objetos que aparece en pantalla es cuadrado.
- d. Selector de arrastre cuadrado: si dejamos el botón izquierdo del ratón pulsado y nos desplazamos por la pantalla realizaremos una captura en forma de ventana.
- e. Selector poliforma: Selecciona un área mediante un dibujo de polilínea irregular.
- f. *All*: selecciona todo.
- g. *De/Select*: es el interruptor de seleccionar y de eliminar la selección.
- h. *Buff*: después de la selección se presiona este botón para suavizar la superficie seleccionada.

### c. *Simplificado (Simplify)*

La simplificación consiste en reducir el número de polígonos en zonas de superficie del objeto donde no es necesario que exista gran densificación. La Ilustración 131 muestra el menú de simplificación.



Ilustración 131 - Menú de control de la herramienta SIMPLIFY

### 8.2.2.4. CAD

Normalmente el botón *CAD*, que se muestra en la Ilustración 132, se utiliza para preparar el modelo para exportarlo a un fichero CAD/CAM tipo 3DS Max, SolidWork, RapidWorks, OBJ, STL.

Para la preparación se dispone de tres herramientas: Orientación (*Orient*), Seccionado (*Spline*) y Recubrimiento (*Surface*).



Ilustración 132 - Botón CAD



Ilustración 133 - Herramientas del botón CAD

#### *a. Orientación (Orient)*

La herramienta de Orientación (ORIENT) se emplea tanto para la definición un sistema de coordenadas en el espacio modelo como para orientar el objeto respecto a dicho sistema.

La orientación del modelo se realiza de la siguiente manera:

1. Hacer clic en el botón de la barra de herramientas de CAD para entrar en la barra de herramientas de CAD.
2. Seleccionar la opción Orientar (ORIENT). ScanStudio mostrará una representación de un cubo delimitador de los planos de vista comunes: (arriba, izquierda, delante, etc.).

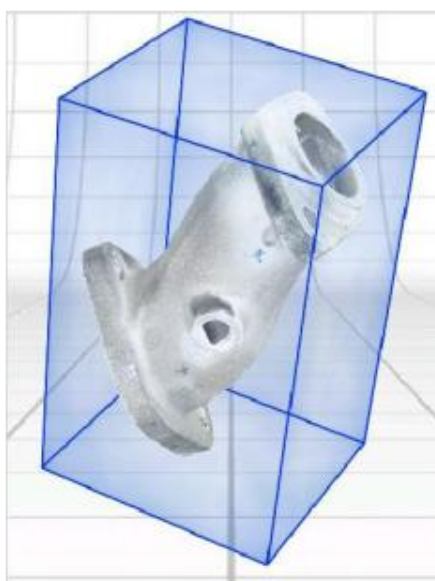


Ilustración 134 - Cubo delimitador

3. Es posible rotar el cubo delimitador y el conjunto de datos a la vez, los datos de escaneo en relación con el cubo delimitador o el cubo delimitador en relación con el conjunto de datos a través de la rotación botones.
4. Mediante el empleo del botón correspondiente (ver Ilustración 135) se limitan las rotaciones en un solo eje.



Ilustración 135 - Botones del menú de la herramienta ORIENT

5. Al hacer clic en el botón BASE se sitúan tres esferas en el objeto, que definirán una de las caras del cubo limitador.

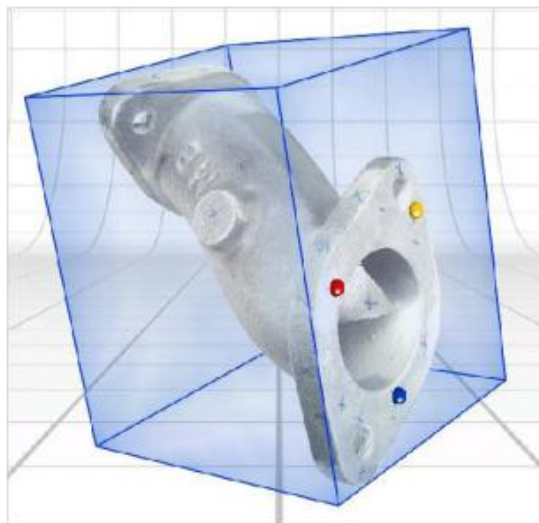


Ilustración 136 - Botón BASE en la herramienta ORIENT

6. Al hacer clic en botón ORIGIN se coloca una esfera para definir el origen.

#### ***b. Seccionar (Spline)***

La herramienta Seccionar (*SPLINE*) se emplea para extraer los límites de contorno del objeto escaneado.

El control deslizante ESPACIADO (*Spacing*) se utiliza para controlar la distancia entre los planos paralelos de corte.

Tras la ejecución de la herramienta se obtiene una nueva familia en la zona verde de la parte inferior de la pantalla. El resultado puede exportarse a un fichero *IGES* para analizar las secciones del objeto en un programa *CAD*.

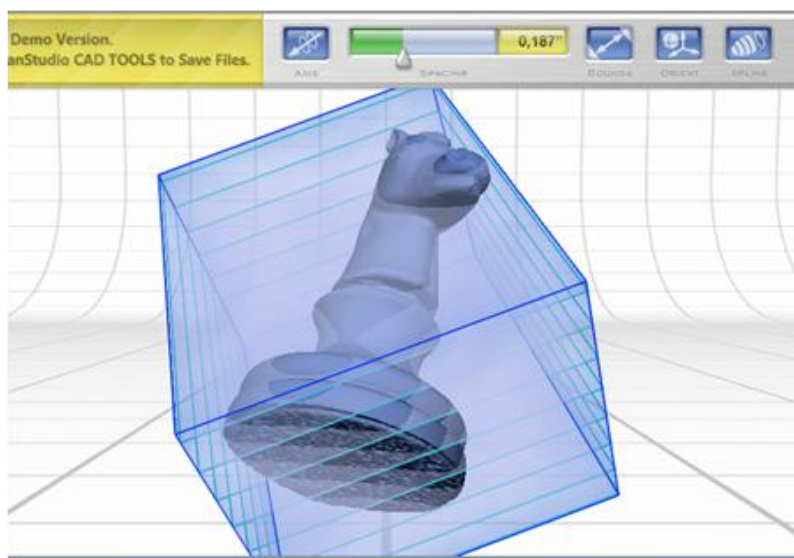


Ilustración 137 - Herramienta SPLINE

### c. Recubrir (*Surface*)

La herramienta *Surface* convierte automáticamente los datos de escaneo en superficies *NURBS*. Las superficies *NURBS* son representaciones matemáticas de geometría en 3D capaces de describir cualquier forma con precisión, desde simples líneas en 2D, círculos, arcos o curvas, hasta los más complejos sólidos o superficies orgánicas de forma libre en 3D. Gracias a su flexibilidad y precisión, pueden emplearse modelos *NURBS* en cualquier proceso, desde la ilustración y animación hasta la fabricación.

## 8.2.2.5. Exportación e importación de modelos 3D

### a. Exportación

El programa ScanStudio HD ofrece dos formas que exportar datos en 3D, bien a través del menú SALVAR COMO (*Save as....*) o bien haciendo clic en el botón SALIDA (*OUTPUT*).

La opción *Guardar Como* del menú Archivo despliega un Explorador de Windows, en el que se seleccionará la ruta donde se almacenará el archivo, así como el nombre del mismo. Es importante indicar el tipo de archivo o extensión (.obj, .ud3, .xyz, etc.). La selección dependerá de las propiedades del programa donde vaya a utilizarse el modelo. Las unidades pueden ser en milímetros o centímetros, dependiendo de las necesidades del usuario.



Ilustración 138 - Botón OUTPUT

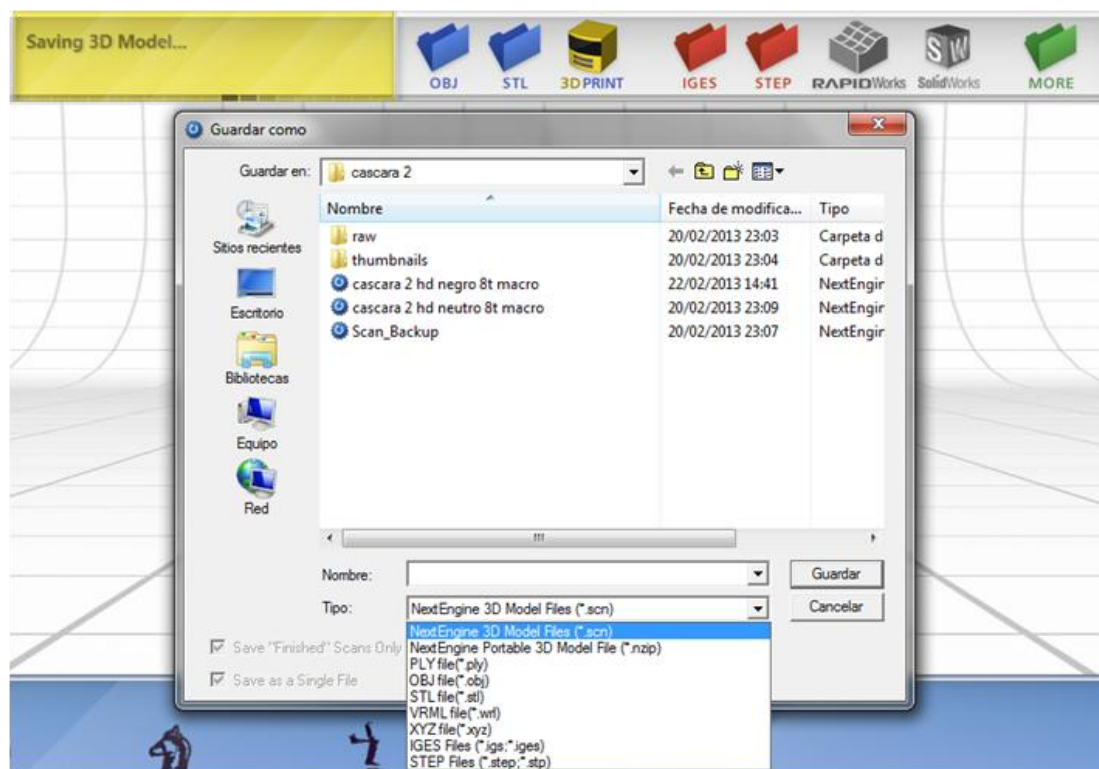


Ilustración 139 - Desplegable del menú Guardar Como

### b. Importación

La importación de ficheros se realiza mediante el menú Archivo, en la opción *Import*.

A continuación se muestra una tabla con los archivos que ScanStudioHD puede importar y exportar:

OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA PIEZA DE TERRACOTA  
MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

Extensiones de archivos que se pueden EXPORTAR	Extensiones de archivos que se pueden IMPORTAR
NextEngine 3D Model files (*.scn)	NextEngine 3D Model files (*.scn)
NextEngine Portable 3D Model files (*.nzip)	NextEngine Portable 3D Model files (*.nzip)
PLY files (*.ply)	IGES files (*.iges, *.igs)
OBJ files (*.obj)	STEP files (*.step, *.stp)
STL files (*.stl)	
VRML files (*.wrl)	
XYZ files (*.xyz)	
IGES files (*.iges, *.igs)	
STEP files (*.step, *.stp)	

Tabla 11 - Resumen de extensiones de archivos para importación y exportación desde ScanStudioHD



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Luis Peña Serrano. (Mayo 2012): *"Modelización tridimensional de piezas celtibéricas como método de documentación arqueológica."* Proyecto fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- José Ruiz Marín (Mayo 2013): *"Obtención del modelo tridimensional de dos fragmentos de globos de lava de la erupción volcánica submarina de la isla de El Hierro en 2011, mediante sistemas escáner láser 3D"*. Proyecto fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Álvaro Aarón Solera Arganda (Junio 2012): *"Obtención del modelo tridimensional de una vasija precolombina de la Cultura Nazca-Perú mediante sistemas láser escáner 3D"*. Proyecto fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Jorge F. Matesanz Vicente (Enero 2014): *"Musealización de piezas arqueológicas mediante tecnología láser escáner 3D"*. Proyecto fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Manual de usuario Adobe Reader Pro X
- Manual de usuario Adobe Acrobat 3D
- Manual de usuario NextEngine SCANSTUDIO CORE 1.7.0: 2007
- MiniMagics: <http://www.materialise.com/materialise/view/en/2562719-MiniMagics.html>

